

**РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК**  
**ОТДЕЛЕНИЕ НАУК О ЗЕМЛЕ**  
**НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРОБЛЕМАМ ГОРНЫХ НАУК**

**ОТЧЕТ**

**О ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НАУЧНОГО СОВЕТА РАН  
ПО ПРОБЛЕМАМ ГОРНЫХ НАУК И КРАТКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ УЧРЕЖДЕНИЙ  
И ОРГАНИЗАЦИЙ ГОРНОГО ПРОФИЛЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И СТРАН СНГ  
В 2023 ГОДУ**

Председатель Научного совета РАН  
академик РАН **В.Н.Захаров**

Ученый секретарь  
канд.техн.наук **А.Г.Красавин**

МОСКВА 2024

УДК 622.01

**Отчет о деятельности Научного совета РАН по проблемам горных наук и краткие результаты научно-исследовательских работ учреждений и организаций горного профиля Российской Федерации и стран СНГ в 2023 году. Составители: акад. РАН В.Н.Захаров, канд. техн. наук А.Г.Красавин. – М.: ИПКОН РАН, 2024. – 176 с.**

Приведены сведения о деятельности Научного совета РАН по проблемам горных наук в 2023 году и результаты научно-исследовательских работ в данной области по материалам академических, отраслевых и учебных институтов и других организаций горного профиля Российской Федерации и ряда стран СНГ. Материалы, представленные в Отчете, приведены в редакции организаций, приславших краткие результаты важнейших исследований в области горных наук. Качество печати иллюстраций полностью соответствует качеству представленных оригиналов. Отчет не претендует на полноту изложения научной деятельности учреждений, представивших информацию, его цель – дать представление широкой горной общественности о проводимых в организациях исследованиях.

ISBN 978-5-6047953-8-5

© В.Н.Захаров, А.Г.Красавин

© ИПКОН РАН, 2024

# СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
<b>I. ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ НАУЧНОГО СОВЕТА</b>	<b>5</b>
<b>II. РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ</b>	<b>12</b>
2.1. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ НЕДР ИМ. АКАДЕМИКА Н.В.МЕЛЬНИКОВА РАН (ИПКОН РАН) .....	12
2.2. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ДИНАМИКИ ГЕОСФЕР ИМЕНИ АКАДЕМИКА М.А.САДОВСКОГО РАН (ИДГ РАН) .....	19
2.3. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ХАБАРОВСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО ОТДЕЛЕНИЯ РАН ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА ДВО РАН (ИГД ДВО РАН) .....	25
2.4. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА ИМ. Н.А.ЧИНАКАЛА СО РАН (ИГД СО РАН) .....	30
2.5. ИНСТИТУТ УГЛЯ ФЕДЕРАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЦЕНТРА УГЛЯ И УГЛЕХИМИИ СО РАН (ИУ ФИЦ УУХ СО РАН) .....	41
2.6. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «ЯКУТСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК» ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА СЕВЕРА ИМ. Н.В.ЧЕРСКОГО СО РАН (ИГДС СО РАН) .....	54
2.7. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ, ЭКОЛОГИИ И КРИОЛОГИИ СО РАН (ИПРЭК СО РАН) .....	63
2.8. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА УрО РАН (ИГД УрО РАН) .....	68
2.9. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ПЕРМСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ УрО РАН (ГИ УрО РАН) .....	80
2.10. ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ – ОБОСОБЛЕННОЕ ПОДРАЗДЕЛЕНИЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ФЕДЕРАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЦЕНТРА «КОЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР» РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК (ГоИ КНЦ РАН) .....	85
2.11. ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОЛОГИИ СЕВЕРА – ОБОСОБЛЕННОЕ ПОДРАЗДЕЛЕНИЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ФЕДЕРАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЦЕНТРА «КОЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК» (ИППЭС КНЦ РАН) .....	90
2.12. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ВСЕРОССИЙСКИЙ ИНСТИТУТ НАУЧНОЙ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ РАН (ВИНИТИ РАН) .....	94
2.13. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ ДВО РАН (ИГиП РАН) .....	100
2.14. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ЗЕМЛИ РАН (ИФЗ РАН) .....	102
2.15. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ «РЕСПУБЛИКАНСКИЙ АКАДЕМИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ И ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКИЙ ИНСТИТУТ ГОРНОЙ ГЕОЛОГИИ, ГЕОМЕХАНИКИ, ГЕОФИЗИКИ И МАРКШЕЙДЕРСКОГО ДЕЛА» МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ .....	108

2.16. ИНСТИТУТ ГОРНОЙ МЕХАНИКИ И ГЕОФИЗИКИ – МЕЖОТРАСЛЕВОЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР ГЕОМЕХ .....	111
2.17. ИНСТИТУТ «ЯКУТНИПРОАЛМАЗ» .....	120
2.18. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ СЕРГО ОРЖДОНИКИДЗЕ РГГРУ).....	127
2.19. САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (С-П ГУ) .....	138
2.20. НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИСИС» .....	141
2.21. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ТУЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» (ТулГУ) .....	144
2.22. ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (ДГФУ) .....	146
2.23. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ЮГО-ЗАПАДНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» (ЮЗГУ) .....	148
2.24. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «МАГНИТОГОРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Г.И.НОСОВА» ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА И ТРАНСПОРТА (МГТУ).....	149
2.25. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» (УГГУ).....	153
2.26. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «СЕВЕРОКАВКАЗСКИЙ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ» (ГТУ) (СКГМИ).....	156
2.27. ИНСТИТУТ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ.....	161
2.28. ФИЛИАЛ РГП «НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР ПО КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН» «ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА ИМ. Д.А.КУНАЕВА» .....	166
2.29. КАРАГАНДИНСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АБЫЛКАСА САГИНОВА .....	169

## **I. ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ НАУЧНОГО СОВЕТА РАН ПО ПРОБЛЕМАМ ГОРНЫХ НАУК**

В соответствии с Положением о Научном совете (утверждено Постановлением Бюро Отделения наук о Земле РАН 09.07.2003г. № 3000/7-55.6) основная его деятельность заключается в обобщении и популяризации новых знаний в области горных наук, содействии выполнения научных работ по комплексному эффективному освоению недр Земли, организации и проведении конференций и симпозиумов по актуальным проблемам, поддержке практического использования результатов исследований.

В соответствии с Постановлениями Бюро Отделения наук о Земле РАН от 31 января 2023г. № 13000/2-3 были внесены дополнения в состав Научного совета РАН по проблемам горных наук, связанные с организационными изменениями. На основании представления председателя Научного совета РАН по проблемам горных наук при Отделении наук о Земле РАН академика РАН В.Н.Захарова утвержден следующий состав Совета:

### **Бюро научного совета**

<b>Захаров Валерий Николаевич</b>	академик РАН, директор Института проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В.Мельникова РАН (ИПКОН РАН), <b>председатель Совета</b>
<b>Барях Александр Абрамович</b>	академик РАН, Пермский федеральный исследовательский центр УрО РАН, <b>заместитель председателя Совета</b>
<b>Каплунов Давид Родионович</b>	член-корреспондент РАН, Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В.Мельникова РАН, (ИПКОН РАН), <b>заместитель председателя Совета</b>
<b>Красавин Александр Германович</b>	к.т.н., Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В.Мельникова РАН (ИПКОН РАН), <b>ученый секретарь Совета</b>
<b>Бортников Николай Стефанович</b>	академик РАН, Отделение наук о Земле РАН (ОНЗ РАН)
<b>Клишин Владимир Иванович</b>	член-корреспондент РАН, Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН
<b>Литвиненко Владимир Стефанович</b>	д.т.н., Санкт-Петербургский горный университет
<b>Лукичев Сергей Вячеславович</b>	д.т.н., Горный институт федерального исследовательского центра КНЦ РАН (ГоИ КНЦ РАН)
<b>Панов Юрий Петрович</b>	к.т.н., Российский геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (РГГРУ)
<b>Рассказов Игорь Юрьевич</b>	член-корреспондент РАН, Хабаровский федеральный исследовательский центр ДВО РАН
<b>Соколов Игорь Владимирович</b>	д.т.н., Институт горного дела УрО РАН (ИГД УрО РАН)

<b>Трубецкой Климент Николаевич</b>	академик РАН, советник РАН, принимает участие в работе Президиума РАН
<b>Чантурия Валентин Алексеевич</b>	академик РАН, Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В.Мельникова РАН (ИПКОН РАН)
<b>Черникова Алевтина Анатольевна</b>	д.э.н., НИТУ МИСИС

### Члены научного совета

<b>Артемьев Владимир Борисович</b>	д.т.н., ПАО «Еврохим»
<b>Викторов Сергей Дмитриевич</b>	д.т.н., Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В.Мельникова РАН (ИПКОН РАН)
<b>Владимиров Дмитрий Ярославович</b>	к.т.н., Группа компаний «Цифра»
<b>Грабский Анатолий Адольфович</b>	д.т.н., Российский геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (РГГРУ)
<b>Душин Алексей Владимирович</b>	д.э.н., Уральский государственный горный университет (УГГУ)
<b>Казанин Олег Иванович</b>	д.т.н., Санкт-Петербургский горный университет
<b>Калабин Геннадий Валерианович</b>	д.т.н., Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В.Мельникова РАН (ИПКОН РАН)
<b>Качурин Николай Михайлович</b>	д.т.н., Институт горного дела и строительства Тульского государственного университета
<b>Клебанов Алексей Феликсович</b>	к.т.н., Группа компаний «Цифра»
<b>Коваленко Виктор Сергеевич</b>	д.т.н., Горный институт НИТУ МИСИС
<b>Козырев Анатолий Александрович</b>	д.т.н., Горный институт федерального исследовательского центра КНЦ РАН (ГоИ КНЦ РАН)
<b>Корнилков Сергей Викторович</b>	д.т.н., Институт горного дела УрО РАН (ИГД УрО РАН)
<b>Курлена Михаил Владимирович</b>	академик РАН, Институт горного дела им. Н.А.Чинакала СО РАН (ИГД СО РАН)
<b>Левин Лев Юрьевич</b>	член-корреспондент РАН, Горный институт Пермского федерального исследовательского центра УрО РАН (ГИ УрО РАН)
<b>Мясков Александр Викторович</b>	д.э.н., Горный институт НИТУ МИСИС
<b>Опарин Виктор Николаевич</b>	член-корреспондент РАН, Институт горного дела им. Н.А.Чинакала СО РАН (ИГД СО РАН)
<b>Санфиров Игорь Александрович</b>	д.т.н., Горный институт Пермского федерального исследовательского центра УрО РАН (ГИ УрО РАН)
<b>Сорокин Андрей Анатольевич</b>	член-корреспондент РАН, Институт геологии и природопользования ДВО РАН (ИГиП ДВО РАН)
<b>Тихоцкий Сергей Андреевич</b>	член-корреспондент РАН, Институт физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН (ИФЗ РАН)

<b>Ткач Сергей Михайлович</b>	д.т.н., Институт горного дела Севера им. Н.В.Черского федерального исследовательского центра «Якутский научный центр СО РАН» (ИГДС СО РАН)
<b>Турунтаев Сергей Борисович</b>	д.ф.-м.н., Институт динамики геосфер РАН (ИДГ РАН)
<b>Хмелинин Алексей Павлович</b>	к.т.н., Институт горного дела им. Н.А.Чинакала СО РАН (ИГД СО РАН)
<b>Черкасов Сергей Владимирович</b>	д.т.н., Государственный геологический музей им В.И.Вернадского РАН
<b>Шулюпин Александр Николаевич</b>	д.т.н., Институт горного дела Хабаровского федерального исследовательского центра ДВО РАН (ИГД ДВО РАН)
<b>Яковлев Виктор Леонтьевич</b>	член-корреспондент РАН, Институт горного дела УрО РАН (ИГД УрО РАН)
<b>Яковлев Алексей Николаевич</b>	к.ф.-м.н., Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф.Горбачева (КузГТУ)

В состав Научного совета РАН по проблемам горных наук вошли директора академических, отраслевых и учебных институтов горного профиля, 6 академиков РАН, 8 членов-корреспондентов РАН, представители ведущих вузов и отраслевых институтов: всего 40 специалистов горного и геологического профиля.

По традиции Научный совет РАН по проблемам горных наук был одним из организаторов и активным участником проведения совместно с Горным институтом НИТУ МИСИС 30 января – 03 февраля 2023г. в г. Москве XXXI Международного научного симпозиума «Неделя горняка - 2023».

С докладами на пленарном заседании научного симпозиума «Неделя горняка - 2023» выступили:

- **Черникова Алевтина Анатольевна**, ректор НИТУ МИСИС.

Доклад: «*Университет МИСиС в Программе Приоритет 2030*».

- **Цыганов Константин Анатольевич**, первый заместитель министра природных ресурсов и экологии Российской Федерации.

Доклад: «*Национальный проект «Экология»: ограничения и возможности для горно-металлургической отрасли*».

- **Мочальников Сергей Владимирович**, заместитель министра энергетики Российской Федерации.

Доклад: «*Ограничения, перспективы и возможности для угольной отрасли*».

- **Буцаев Денис Петрович**, генеральный директор ППК «Российский экологический оператор».

Доклад: «*Особенности управления промышленными отходами в экономике замкнутого цикла*».

- **Логинов Александр Кимович**, директор по производственным операциям угольного дивизиона АО «СУЭК».

Доклад: «*Стратегия развития угольной отрасли – взгляд лидера*».

- **Емельченков Сергей Евгеньевич**, генеральный директор ГК «Цифра».

Доклад: «*Технологические тренды в горнодобывающей промышленности*».

- **Грачев Алексей Игоревич**, первый заместитель генерального директора ОАО «БЕЛАЗ».

Доклад: «*Будущее горного машиностроения в условиях внешних ограничений*».

**I.** В рамках программы научного симпозиума «Неделя горняка - 2023» 03 февраля 2023 года под руководством председателя Научного совета РАН по проблемам горных наук академика РАН **В.Н.Захарова** было проведено заседание Научного совета РАН по проблемам

горных наук с участием сотрудников ИПКОН РАН, ведущих специалистов Горного института НИТУ МИСИС и ряда отечественных и зарубежных представителей организаций горного профиля. Заседание проходило как очно, так и в ОНЛАЙН режиме.

**Очно присутствовали:** *академик РАН В.Н.Захаров* (директор ИПКОН РАН), *к.т.н. А.Г.Красавин* (ученый секретарь НС РАН по проблемам горных наук, с.н.с. ИПКОН РАН), *проф., д.э.н. А.А.Черникова* (ректор НИТУ МИСИС), *проф., д.э.н. А.В.Мясков* (директор Горного института НИТУ МИСИС), *к.т.н. А.В.Шляпин* (зам.директора ИПКОН РАН), *д.т.н. В.М.Закалинский* (в.н.с. ИПКОН РАН), *проф., д.т.н. Ю.П.Галченко* (в.н.с. ИПКОН РАН), *д.т.н. В.А.Бобин* (зав. отделом ИПКОН РАН), *д.т.н. О.Н.Малинникова* (в.н.с. ИПКОН РАН), *к.т.н. А.Ф.Клебанов* (г.н.с. ГК «Цифра»), *к.т.н. Д.Я.Владимиров* (зам. генерального директора ГК «Цифра»), *д.т.н. Г.Ф.Пивень* (президент Академии горных наук), *проф., д.т.н. С.С.Кубрин* (зав. лабораторией ИПКОН РАН), *к.т.н. Н.А.Милетенко* (с.н.с. ИПКОН РАН), *проф. РАН, д.т.н. В.А.Еременко* (директор НИЦ «Прикладная геомеханика и конвергентные геотехнологии»), *Е.В.Анистратова* (генеральный директор журнала «Горная промышленность»), *д.т.н. А.Н.Панкратенко* (зав. кафедрой СПС и ГП Горного института НИТУ МИСИС), *Д.С.Паринов* (главный механик ООО ЗСК «Норильский никель»), *М.Ю.Чебанюк* (руководитель ПО РППО ЗФ Норникель), *д.т.н. М.С.Плешко* (профессор кафедры СПС и ГП Горного института НИТУ МИСИС), представители др. организаций.

**Участвовали в ОНЛАЙН режиме:** *чл.-корр. РАН Д.Р.Капунов* (зам. председателя НС РАН по проблемам горных наук, г.н.с. ИПКОН РАН), *чл.-корр. РАН И.Ю.Рассказов* (научный руководитель ИГД ДВО РАН), *д.т.н. Г.В.Калабин* (в.н.с. ИПКОН РАН), *С.П.Остапенко* (ГоИ КНЦ РАН), *д.т.н. И.В.Соколов* (директор ИГД УрО РАН), *чл.-корр. РАН В.Л.Яковлев* (г.н.с.ИГД УрО РАН), *д.т.н.В.С.Федотенко* (в.н.с. ИПКОН РАН), *А.В.Липина* (Горный институт НИТУ МИСИС), *д.т.н. С.М.Ткач* (директор ИГДС СО РАН), *Е.В.Жевнеров, Е.А.Юрасова, П.А.Корчак* (Горный институт НИТУ МИСИС), *д.т.н. С.В.Лукичев* (директор ГоИ КНЦ РАН), *д.т.н. И.А.Санфиров* (директор ГИ УрО РАН), *чл.-корр. РАН С.А.Тихоцкий* (директор ИФЗ РАН), *д.ф.-м.н. С.Б.Турунтаев* (директор ИДГ РАН), *к.т.н. О.Е.Чуркин* (ученый секретарь Гои КНЦ РАН), *д.т.н. В.А.Трофимов* (в.н.с. ИПКОН РАН), *к.т.н. А.Л.Самусев* (с.н.с. ИПКОН РАН).

Перед началом работы Научного совета РАН по проблемам горных наук академик РАН В.Н.Захаров от имени всех присутствующих на заседании специалистов почтил память минутой молчания ушедших из жизни за прошедший период двух членов Бюро Научного совета РАН по проблемам горных наук – академиков РАН **Ю.Н.Малышева** и **Ю.М.Арского**.

На заседании Научного совета РАН по проблемам горных наук был заслушан и обсужден доклад: «*Актуальные проблемы строительства сверхглубоких горных выработок и пути их решения*» (авторы – проф., д.т.н. Картозая Б.А., проф., д.т.н. Панкратенко А.Н., проф., д.т.н. Плешко М.С.) (НИТУ МИСИС). Докладчик - *проф., д.т.н. Плешко М.С.*

#### **Вопросы к докладчику:**

- д.т.н. *В.М.Закалинский*. При проходке вертикальных стволов проводились взрывные работы? В докладе об этом не было сказано ни слова.
- д.т.н. *Г.Ф.Пивень*. Каков интервал глубин аварий? Что записывалось в акте произошедших аварий?
- акад. РАН *В.Н.Захаров*. Большая просьба к участникам заседания нашего Научного совета задавать конкретные вопросы и давать на них конкретные ответы.
- чл.-корр. РАН *Д.Р.Капунов*. Проводилось ли Вами изучение и учет опыта работы рудников на глубоких горизонтах в таких странах, как ЮАР, Индия и др. странах?
  - Как время использования стволов действует на риски его эксплуатации?
  - Производились ли исследования по установлению оптимального периода ремонта стволов?
- д.т.н. *В.А.Бобин*. У меня вопрос относительно модели стволов. Каково напряженно-деформированное состояние стволов после проведения буровзрывных работ?
- С какой глубины проходки стволов используется анкерная крепь?

- д.т.н. **О.Н.Малинникова**. Какая модель в Ваших исследованиях используется – квазистатическая или динамическая?

- акад. РАН **В.Н.Захаров**. В Вашей работе использовались вычислительные и программные комплексы?

- Какой тип модели Вами использовался?

- Геолого-структурная модель Вами отстраивалась или Вы этот вопрос не рассматривали?

- Мониторинг велся в целом при непосредственном конструировании ствола? А за конструкцией ствола не велся?

- к.т.н. **В.Я.Владимиров**. С какой периодичностью Вами делалось лазерное сканирование?

## Выступления

Акад. РАН **В.Н.Захаров**. Доклад интересный и многоплановый. В одном докладе все изложить невозможно. Авторами получены интересные результаты, в целом коллеги потрудились плодотворно и эффективно. На первый план выходят вопросы мониторинга. А в общем и в целом поддерживаю доклад, правда, он в большей мере инженерно-эксплуатационный, а не сугубо научный, но интересен и озвученные исследования весьма познавательны.

Проф. РАН, д.т.н. **В.А.Еременко**. Доклад хороший. Строительство стволов большой глубины перспективно, на глубине спокойнее вести добычные работы. Аварии в шахтах происходят в основном на глубинах разработки не более 1000 м.

Чл.-корр. РАН **Д.Р.Капунов**. Доклад, с моей точки зрения, результативен и посвящен сохранности вертикальных стволов. В данной обстановке необходим безусловно мониторинг. Глубокие стволы – это вскрытие и добыча с глубоких горизонтов. Весьма влияет на эффективность добычи полезных ископаемых и интенсивность их эксплуатации. Работа посвящена решению важных вопросов.

К.т.н. **А.Ф.Клебанов**. На текущий момент возникают проблемы с импортозамещением. Есть определенные проблемы с использованием импортных пакетов.

Акад. РАН **В.Н.Захаров**. Необходимо учитывать перспективы использования пакетов.

К.т.н. **Д.Я.Владимиров**. Необходимо обращение в ИЦК для ускорения работы софта.

Д.т.н. **В.А.Бобин**. Важнейшая научная проблема – прогноз проходки стволов. В докладе анализа проходки стволов не прозвучало. Изменение физико-технических проблем не было освещено. А в целом доклад понравился.

По докладу профессора кафедры «Строительство подземных сооружений и горных предприятий» докт. техн. наук **Плешко Михаила Степановича** на тему: «*Актуальные проблемы строительства сверхглубоких горных выработок и пути их решения*» (авторы – проф., д.т.н. Б.А.Картозия, проф., д.т.н. А.Н.Панкратенко, проф., д.т.н. М.С.Плешко). были сделаны следующие выводы:

- проблемы, освещенные в докладе, важны, перспективны и актуальны;

- междисциплинарные знания и проблемы, озвученные в докладе, сопряжены с натурными исследованиями;

- предложены новые подходы к проходке сверхглубоких горных выработок.

Участниками заседания было отмечено, что доклад был интересен, полезен и хорошо преподнесен аудитории.

Участники заседания в целом одобрили основные положения представленного доклада и рекомендовали авторам продолжить научно-исследовательскую работу в данной области и пожелали успехов в выполнении дальнейших исследований.

**II.** 03 июля 2023 года в Институте проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В.Мельникова РАН при участии Научного совета РАН по проблемам горных наук было проведено расширенное заседание Ученого совета Института, посвященное 90-летию со дня рождения и 70-летию с начала научной, научно-организационной, педагогической и инженерной деятельности советника Президиума РАН, главного научного сотрудника ИПКОН РАН академика РАН **Клиmenta Nikolaevicha Trubецkogo**, много лет возглавлявшего Научный совет РАН по проблемам горных наук, выдающегося ученого и организатора науки в области освоения недр Земли и горной экологии, создавшего Международную ведущую

научную школу в области комплексного освоения и сохранения недр Земли, поддерживающую государством.

За большие заслуги в научной деятельности и многолетнюю добросовестную работу академик РАН **К.Н.Трубецкой** Указом Президента Российской Федерации № 512 от 10 июля 2023 года награжден **орденом Александра Невского**.

**III.** 23-27 октября 2023 года в Институте проблем комплексного освоения недр им. Н.В. Мельникова РАН была проведена **16-я Международная научная школа молодых ученых и специалистов «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых»**.

Организаторы школы - Министерство образования и науки Российской Федерации, Российская академия наук, Отделение наук о Земле, Научный совет РАН по проблемам горных наук, Научный совет РАН по проблемам обогащения полезных ископаемых, Институт проблем комплексного освоения недр РАН им. академика Н.В. Мельникова, Совет молодых ученых и специалистов ИПКОН РАН.

В работе научной школы приняли участие более 150 (очных участников 95) представителей академических и отраслевых институтов, вузов, горно-обогатительных предприятий России, Вьетнама, Казахстана, Японии. В их числе ИПКОН РАН (Москва), Университет науки и технологий МИСиС (Москва), Институт физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН (Москва), НИУ ВШЭ (Москва), Московский институт электроники и математики им. А.Н. Тихонова (Москва), Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (Москва), Санкт-Петербургский горный университет (Санкт-Петербург), Научно-исследовательский институт горной геомеханики и маркшейдерского дела Межотраслевой научный центр ВНИМИ (Санкт-Петербург), Республиканский академический научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела» «РАНИМИ» (Донецк), ФГБНУ Институт физики горных процессов (Донецк), Горный институт Кольского научного центра РАН (Апатиты), Уральский государственный горный университет (Екатеринбург), Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина (Екатеринбург), АО «Уралмеханобр» (Екатеринбург), Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева (Кемерово), Институт углехимии и химического материаловедения СО РАН (Кемерово), Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН (Новосибирск), Южно-Российский государственный политехнический университет имени М.И. Платова (Новочеркасск), Заполярный государственный университет им. Н. М. Федоровского (Норильск), Научный Центр Изучения Арктики (Салехард), АО «Томский научно-исследовательский и проектный институт нефти и газа» (Томск), Национальный исследовательский Томский политехнический университет (Томск), Институт горного дела ДВО РАН (Хабаровск), Группа компаний «Эвобласт» (Москва), ООО «Майкромайн Рус» (Москва), НВК «Горгеомех» (Москва), АЗОТТЕХ (Москва), Ассоциация субъектов инновационной деятельности в горной отрасли «Инновационные горные технологии» ЦИГТ (Москва), ТОО «КазГидромедь» (Казахстан, Караганда), Институт горного дела им.Д.А.Кунаева (Казахстан, Алматы), «Казмеханобр» (Казахстан, Алматы), Восточноазиатский технологический университет (EAUT) (Вьетнам, Ханой), Университет Кюсю (Япония, Фукуока), China University of Mining and Technology (Китайский университет горного дела и технологий) (Китай, Пекин). и др., представители научно-технического журнала «Маркшейдерия и недропользование».

Было представлено 128 докладов 200 авторов, из них заслушан 61 доклад, в числе которых 8 пленарных. В работе конференции приняло участие 3 академика, 1 член-корреспондент РАН, 10 докторов наук, 23 кандидата наук, около 60 аспирантов и студентов. Участники осветили последние достижения в области теории и технологии комплексного освоения недр Земли. Представлены результаты новых исследований по таким направлениям, как гидрогеология и инженерная геология, цифровые технологии при недропользовании; проблемы геомеханики и разрушения горных пород и газодинамических явлений, аэrogазопылединамика, геоинформационные технологии; совершенствование техники и технологии освоения месторождений полезных ископаемых; проблемы комплексной переработки природного и техногенного минерального сырья; охрана окружающей среды при недропользовании.

Основная часть докладов была заслушана на пяти специализированных секциях.

1. Гидрогеология и инженерная геология. Цифровые технологии при недропользовании.
2. Проблемы геомеханики. Разрушение горных пород и газодинамических явлений. Аэrogазопылединамика. Геоинформационные технологии.
3. Совершенствование техники и технологии освоения месторождений полезных ископаемых.
4. Проблемы комплексной переработки природного и техногенного минерального сырья.
5. Охрана окружающей среды при недропользовании. Управление производством, экономические и социальные проблемы освоения недр.

Школа отметила, что в представленных докладах содержатся современные теоретические и практические подходы к решению указанных проблем, основанные на крупных исследованиях, выполненных за последние годы научными коллективами. Основная часть докладов была заслушана на пяти специализированных секциях. В рамках Школы активные участники и лучшие докладчики были награждены дипломами и ценными призами от организаторов и спонсора конференции. Также для участников Школы были проведены экскурсии по научным лабораториям ИПКОН РАН.

По материалам конференции издан сборник трудов (424 стр., 126 докладов); ISBN 978-5-6047953-5-4.

***Решение школы молодых ученых и специалистов.***

- Продолжить развитие фундаментальных и прикладных исследований по приоритетным направлениям комплексного освоения и сохранения недр Земли.
- Расширить сотрудничество Совета молодых ученых и специалистов ИПКОН РАН с молодыми учеными России, Китая, Японии, Казахстана, Вьетнама.
- Наиболее интересные доклады, отмеченные по результатам работы секций, опубликовать в виде статей в журнале «Маркшейдерия и недропользование».
- Обратиться с просьбой к редакции журнала «Маркшейдерия и недропользование», в период подготовки к очередной научной школе продолжить на страницах журнала рубрику «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых».
- Провести 17 Международную научную школу молодых ученых и специалистов в октябре-ноябре 2025 г.
- Отметить высокий уровень подготовки и проведения конференции и вынести благодарность ее организаторам, а также организациям, оказавшим информационную поддержку – журнал «Маркшейдерия и недропользование», Департамент государственной молодежной политики и воспитательной деятельности Минобрнауки России и спонсору конференции ГК Эвобласт.

**IV.** Председатель Научного совета РАН академик РАН В.Н.Захаров 17-23 ноября 2023 года принял участие в работе Международной научно-практической конференции «Развитие производительных сил Кузбасса: история, современный опыт, стратегия будущего».

**В целях укрепления научного и образовательного сотрудничества, обмена информацией и рекламы достижений институтов** в 2023 году Научным советом РАН по проблемам горных наук был подготовлен и опубликован ***Отчет о научной деятельности Научного совета РАН по проблемам горных наук и краткие результаты научно-исследовательских работ учреждений и организаций горного профиля РФ и стран СНГ в 2022 году***, в который были включены краткие результаты важнейших результатов научно-исследовательских работ 13-ти НИИ РАН, 3-х отраслевых институтов, 7-ми вузов горно-геологического профиля России и 7-ми институтов и университетов СНГ (Республика Казахстан, Кыргызская Республика, Республика Беларусь).

## II. РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 2.1. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ НЕДР ИМ. АКАДЕМИКА Н.В.МЕЛЬНИКОВА РАН

#### Важнейшие результаты фундаментальных исследований по базовому бюджетному финансированию за 2023 год

Разработана модель расчета геомеханических параметров углепородного массива с учетом его строения (рисунок 1), разуплотненного формирования техногенного пространства обрушением пород кровли (рисунок 2) и применяемых способов крепления горных выработок определяющая изменения в нем напряженно – деформированного состояния при подвигании забоя лавы (рисунок 2, поз. а и б). Модель позволяет определить устойчивость горных выработок в пространственно-неоднородном, техногенно-нарушенном углепородном массиве, с учетом технологии ведения горных работ, оценить эффективность дегазации выемочного участка и темпы очистных работ.

Авторы: Кубрин С.С., Закоршменный И.М., Блохин Д.И., Кобылкин А.С., Ягель Н.В.

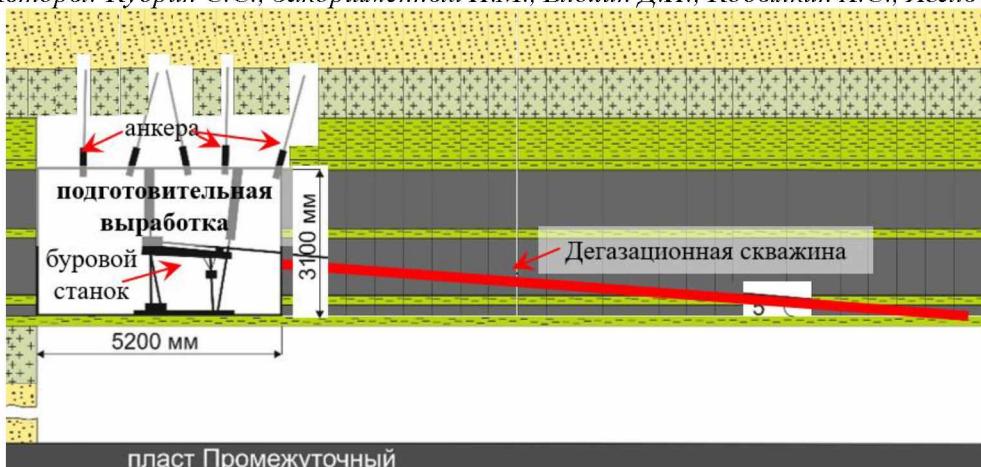


Рисунок 1 - Дегазационная скважина, совмещенная с геологическим разрезом пласта

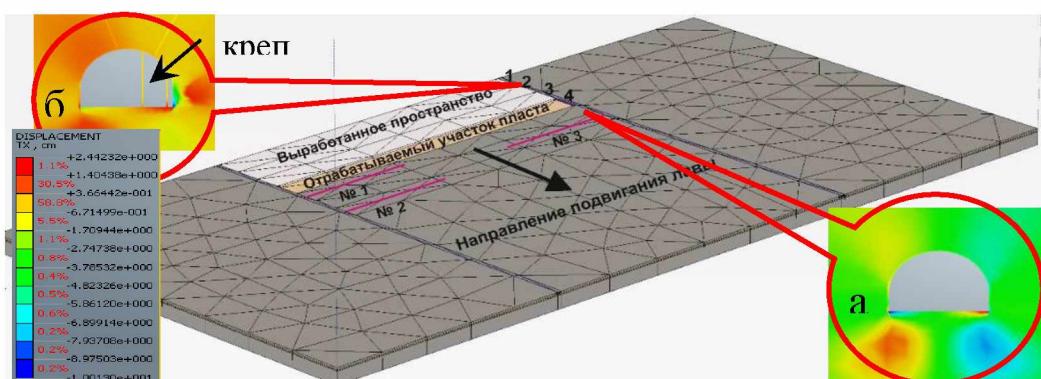


Рисунок 2 - Схема отработки выемочного столба

Распределения деформаций в приконтурной области горной выработки, закрепленной арочной крепью: а) до начала работы лавы, б) усиленной деревянной крепью после прохождения лавы.

Цифрами показаны места установки деревянной крепи. Розовым цветом показаны дегазационные скважины

#### Публикации:

- Блохин Д.И., Закоршменный И.М., Кубрин С.С., Кобылкин А.С., Поздеев Е.Э., Пущилин А.Н. Численные исследования влияния изменений напряженно–деформированного состояния углепородного массива на устойчивость дегазационных скважин. // Горный

2. Ягель Н.В., Закоршменный И.М., Блохин Д.И. Оценка устойчивости повторно используемых подготовительных выработок при разработке пологозалегающих угольных пластов. // Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых. Материалы 16 Международной научной школы молодых ученых и специалистов. 23-27 октября 2023 г – М.: ИПКОН РАН, 2023. – С. 116–119.

Научно обоснованы, разработаны и экспериментально апробированы отечественные природные сорбенты: модифицированный сапонит, позволяющий извлекать 99,5-99,9% РЗЭ из продуктивных растворов переработки эвдиалитового концентрата с сорбционной емкостью 18,8 мг/г и модифицированный борщевик, обеспечивающий эффективное извлечение рения из продуктов выщелачивания молибденового концентрата при сорбционной емкости 25,0 мг/г.

По своим сорбционным свойствам разработанные природные сорбенты не уступают синтетическим образцам зарубежного и отечественного производства.

Авторы: академик РАН В.А. Чантурия (руководитель), д.т.н. Т.Н. Матвеева, к.т.н. В.Г. Миненко, к.т.н. А.Л. Самусев, к.т.н. В.В. Гетман, к.т.н. А.Ю. Каркешина, к.т.н. М.В. Рязанцева. Проект РФ Министерства науки и высшего образования РФ № 13.1902.21.0018 (соглашение 075-15-2020-802).

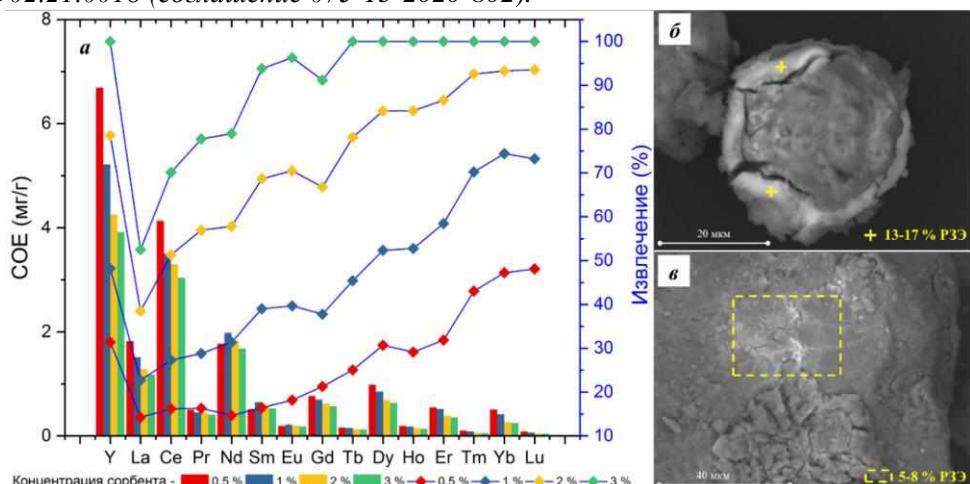


Рисунок 3 - Сорбционная емкость и извлечение РЗЭ в зависимости от концентрации модифицированного сапонита (а) и микрофотографии отдельных новообразованных редкоземельных фаз (б) и зон с повышенным содержанием РЗЭ на поверхности модифицированного сапонита

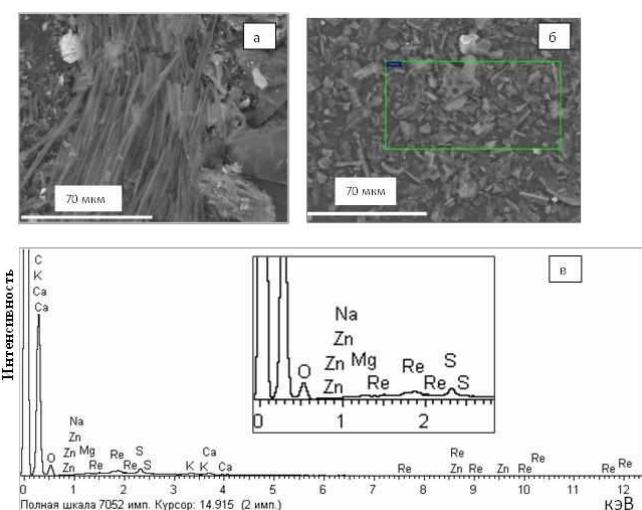


Рисунок 4 - Микрофотографии (а, б) и рентгеновский спектр (в) поверхности модифицированного борщевика до (а) и после (б, в) контакта с раствором перренат-ионов (ReO4-)

### Публикации:

1. Valentine A. Chanturiya; Vladimir G. Minenko; Andrey L. Samusev; Maria V. Ryzantseva; Elizaveta V. Koporulina. Combined Physicochemical and Energy Methods to Improve the Recovery of Rare Earth Elements from Eudialyte Concentrate. **Minerals** 2023, Volume 13, Issue 3, 414 (WoS Q2, Scopus Q2). doi.org/10.3390/min13030414.

2. Chanturiya, V.A.; Matveeva, T.N.; Getman, V.V.; Karkeshkina, A.Y.; Gromova, N.K. Substantiation of New Reagent Compositions for the Effective Extraction of Rhenium in the Processing of Complex Molybdenum Ores. **Minerals** 2023, 13, 372 (WoS Q2, Scopus Q2). doi.org/10.3390/min13030372.

На основании комплекса современных методов исследований показана эффективность депрессии магнийсодержащих силикатов при снижении выхода концентрата в процессе флотации оталькованной медно-никелевой руды с использованием композиций жидкого стекла (ЖС) с карбоксиметилированными целлюлозой ПАЦ-Н и крахмалом КМК-БУР в слабощелочной среде (рисунок 5). Определяющими являются увеличение отрицательного заряда и снижение гидрофобности частиц талька за счёт карбоксильных групп указанных полисахаридов. Жидкое стекло усиливает депрессирующую действие полисахаридов, при этом влияние однозарядных силикат-анионов, образующихся при диссоциации жидкого стекла, более явно проявляется в сочетании с КМК-БУР, имеющим сравнительно низкую долю карбоксильных групп. Более высокая эффективность депрессии достигается последовательным применением КМК-БУР и ЖС. Полученные данные по композициям реагентов могут быть использованы для флотации оталькованных медно-никелевых руд.

Снижение выхода концентрата уменьшает извлечение в него магнийсодержащих силикатов и, таким образом, позволяет повысить эффективность пирометаллургической переработки концентрата.

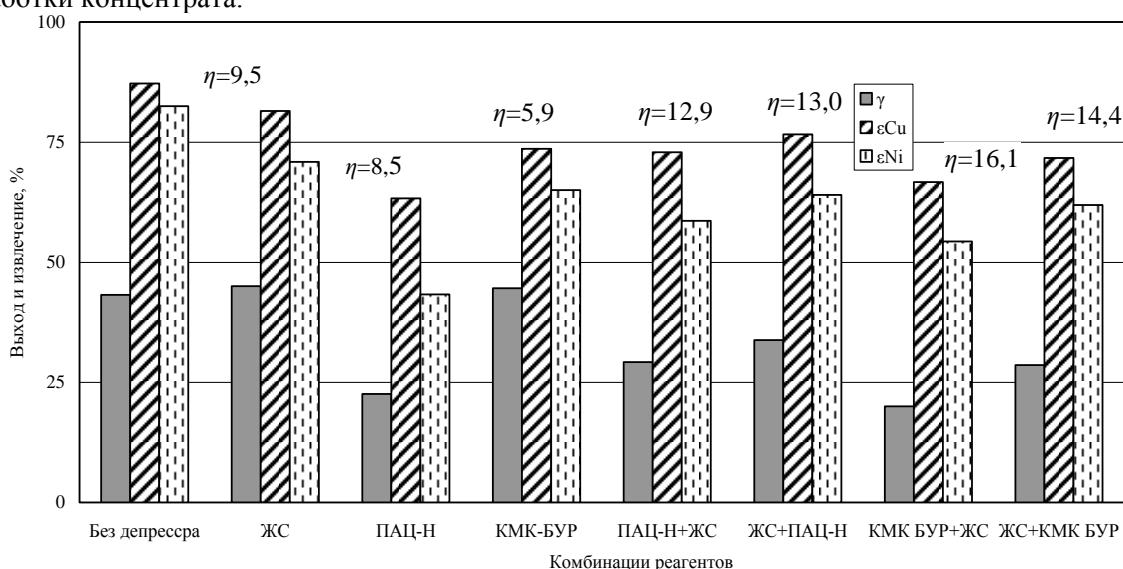


Рисунок 5 – Результаты флотации оталькованной медно-никелевой руды

при расходе ЖС 2,8 кг/т, ПАЦ-Н и КМК-БУР по 420 г/т

$\gamma$  – выход концентрата, %;  $\varepsilon_{Cu}$ ,  $\varepsilon_{Ni}$  – извлечение соответственно меди и никеля, %;

$\eta = \eta_{Cu} \cdot \eta_{Ni}$  – произведение значений эффективности получения медно-никелевого концентрата по Ханкоку-Луйкену

### Публикации:

1. Лавриненко А.А., Кузнецова И.Н., Лусинян О.Г., Гольберг Г.Ю. Применение отечественных полимерных анионоактивных депрессоров при флотации забалансовой оталькованной медно-никелевой руды. // Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия. – 2023. – Т. 29, № 5. – С. 5-14. <https://doi.org/10.17073/0021-3438-2023-5-5-14>.

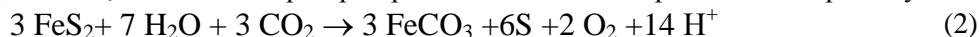
2. Лавриненко А.А., Гольберг Г.Ю., Кузнецова И.Н. Влияние различных депрессоров на флотацию оталькованной медно-никелевой руды. // Материалы международной конференции «Современные методы комплексной и глубокой переработки природного

и нетрадиционного минерального сырья (Плаксинские чтения-2023). – М.: Спутник, 2023. – С. 288-291. (ISBN 978-5-9973-6703-9. DOI: 10.25633/6703-9).

Получены экспериментальные результаты, подтверждающие гипотезу «абиогенного» образования метана на катализаторах в угле, предположительно в реакции



Достаточное количество водорода, необходимого для этой реакции, образуется при участии пирита  $\text{FeS}_2$ , как наиболее распространенного железосодержащего минерала в угле:



На это, в частности, указывает полученная зависимость между количеством пирита в угле и содержанием в нем метана. Метана больше в том угле, который содержит больше пирита.

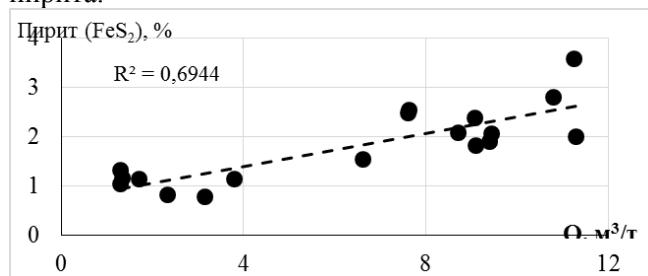
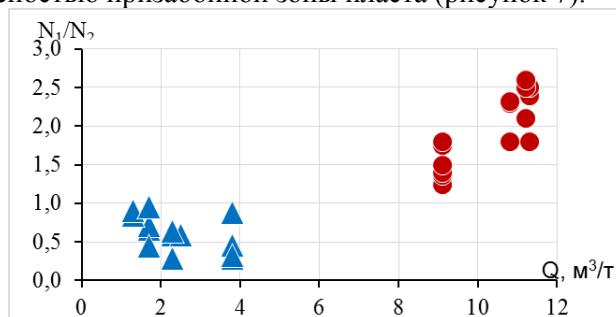


Рисунок 6 – Корреляция газоносности призабойной зоны пласта с содержанием пирита в составе минеральной составляющей угля

Проведенные ЭПР-исследования показали, что отношение количества парамагнитных центров (ПМЦ) в алифатической части углей **N1** к их количеству в сопряженных связях, преимущественно в ароматической части углей **N2** ( $N_1/N_2$ ), хорошо коррелирует с метаноносностью призабойной зоны пласта (рисунок 7).



### *Новизна результата*

Проведенные эксперименты показывают, что, по всей видимости, железосодержащие включения, и особенно пирит, играют достаточно важную роль в газонасыщенности угольных пластов, поскольку угли, содержащие большее количество пирита содержат и большее количество парамагнитных центров, представленных разорванными и деформированными эфирными и метиленовыми мостиковыми межатомными связями в алифатической части угля, а также лучше накапливают и удерживают метан, причем большее содержание метана возможно за счет его образования в реакции.

### *Значимость результата*

Понимание механизма образования метана в угольных шахтах необходимо по меньшей мере по двум причинам: (i) поиск способов предотвращения выбросов метана при добыче угля, (ii) использование угольного метана в качестве источника энергии. Природа происхождения газов, содержащихся в угленосных отложениях, окончательно не установлена.

### *Возможные сферы практического применения результата.*

Прогноз газонасыщенности призабойной зоны и газовыделения в горные выработки, определение мест скопления метана для предварительной дегазации и добычи метана.

### **Сведения об опубликовании**

1. Захаров В.Н., Ульянова Е.В., Малинникова О.Н. Вклад минеральных включений в накопление и удержание метана в угольных пластах. //Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. - 2023. - №5. - С. 3-11.

2. Пашичев Б.Н., Ульянова Е.В., Малинникова О.Н. Особенности газоносности призабойной зоны угольных пластов Кузбасса. // Сборник тезисов докладов XII Международного Российско-Казахстанского симпозиума. «Углемеханика и экология Кузбасса», RUS - 2023. - С. 71.

3. Захаров В.Н., Докучаева А.И., Малинникова О.Н. Обоснование критериев усовершенствованного метода оценки склонности углей к самовозгоранию на примере углей печенорского и кузнецкого каменноугольных бассейнов. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023 - № 6.

4. Ульянова Е.В., Малинникова О.Н., Пашичев Б.Н., Горшенков И.Н. Угольный метан и железосодержащие минералы. // Проблемы и перспективы комплексной и глубокой переработки минерального сырья (Плаксинские чтения-2023): Материалы Международной конференции. – М.: 02-05 октября 2023 г. - С.176-179.

Рассмотрен способ определения расхода газа в дегазационной скважине, основанного на теории течения среды в трубах – гидравлике, в том числе конструкция расходомера, разработанного авторами и апробированного для измерения выхода газа из дегазационной скважины в экспериментах *in situ* на пласте Болдыревский шахты им. С.М. Кирова, алгоритм расчета дебита газа, численное моделирование потоков газа внутри прибора в рамках общих положений механики сплошной среды. Определена степень влияния параметров разработанного авторами замерного узла, таких как шероховатость стенок расходомера, вязкость протекающей среды, состояние кромок отверстия диафрагмы и др. на результаты измерений расхода газа, исходящего из скважины и поступающего в дегазационную систему угледобывающего предприятия. Также в работе рассмотрена динамика изменения давления в скважине с учетом случайных колебаний, вызванных уникальностью строения дегазируемого пласта, зависящая в том числе и от напряженно-деформированного состояния углепородного массива, напрямую связанного с развитием горных работ.

### *Новизна результата*

С помощью численного подхода в рамках общих положений механики сплошной среды смоделирован процесс течения газа в расходомере. Определена методика расчета замерного узла.

### *Значимость результата*

Установлено соответствие дебитов газа, рассчитанных по стандартной методике и полученных в результате численного моделирования. Сравнение результатов, полученных по стандартной методике и численным методом, практически полностью совпадают.

## Возможные сферы практического применения результата

Апробирование для измерения выхода газа из дегазационной скважины в экспериментах *in situ* были произведены на пласте Болдыревский шахты им. С.М. Кирова.

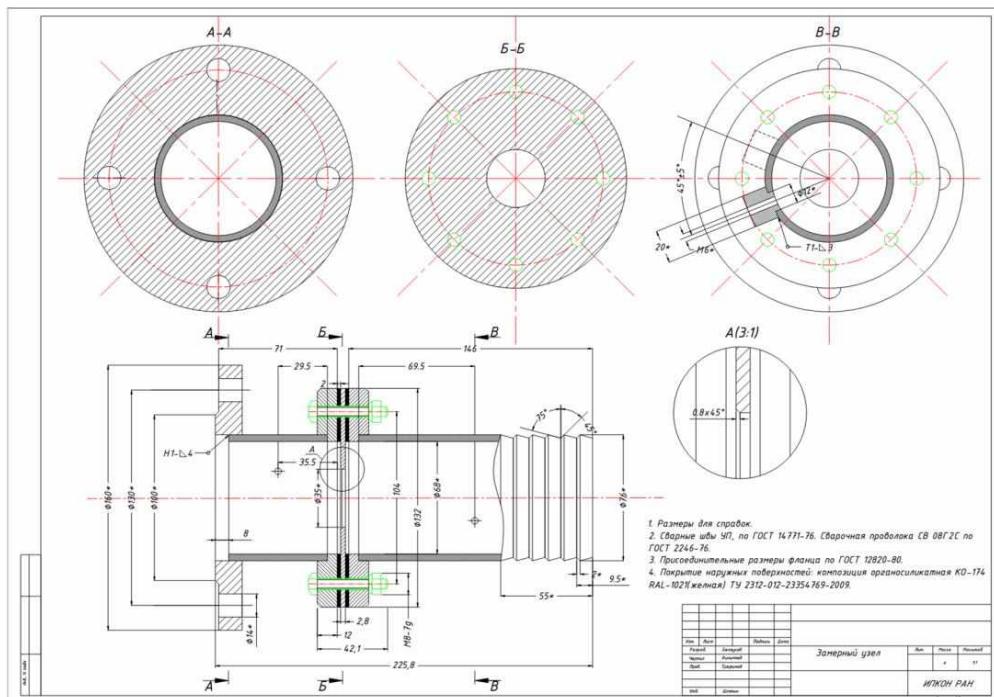


Рисунок 9 - Чертёж разработанного «Замерного узла»

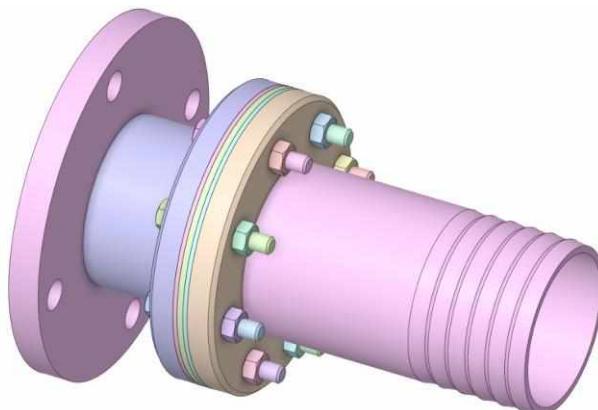


Рисунок 10 - Цифровая модель «Замерного узла»

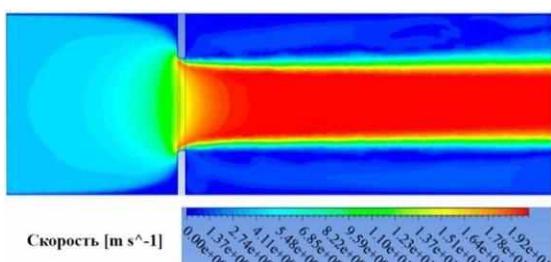


Рисунок 11 – Численные расчёты.  
Распределение скоростей вдоль расходомера  
при стационарном режиме течения (течение  
слева направо)

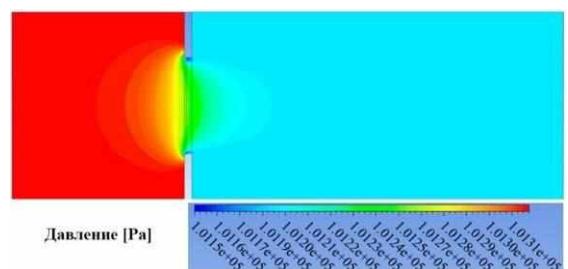
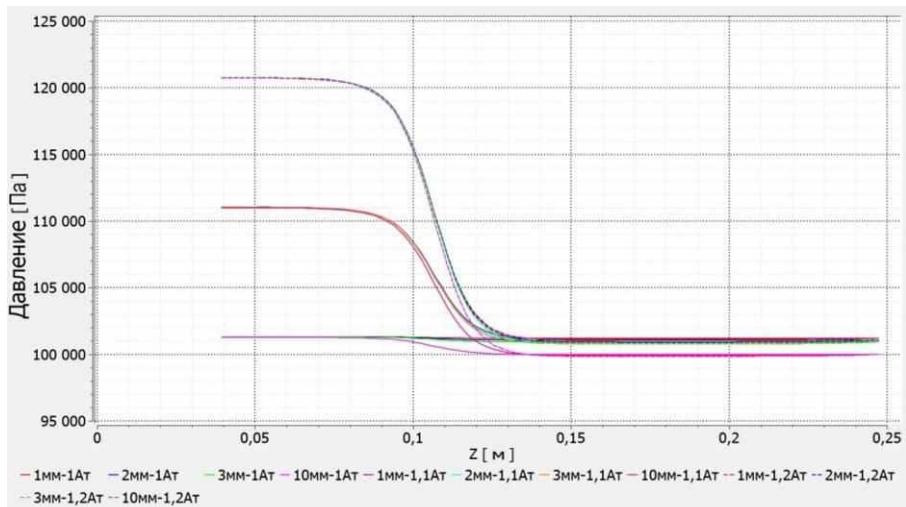


Рисунок 12 – Численные расчёты.  
Распределение давлений в камерах  
расходомера при стационарном  
режиме течения



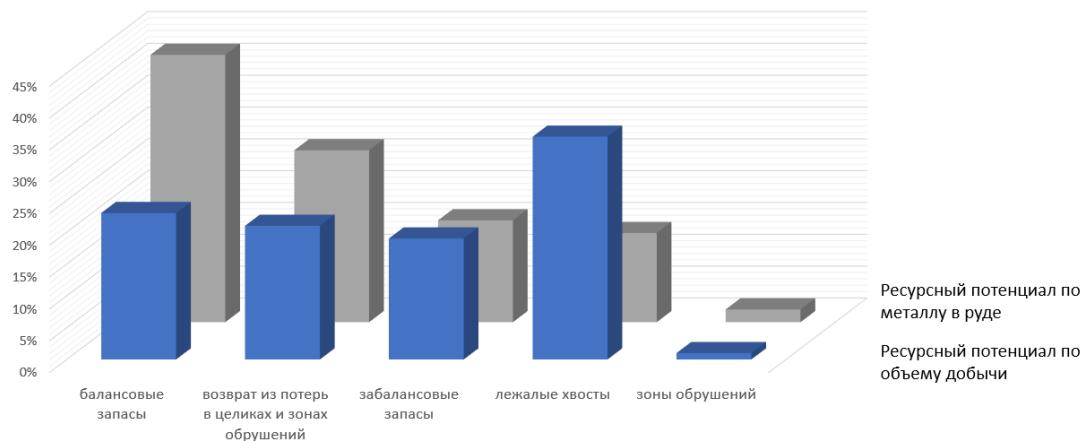
**Рисунок 14 - Стационарно распределение давления вдоль оси расходомера для различных перепадов давления на мембране и различных давлениях на входе (в дегазационной скважине)**

#### Публикация:

Шляпин А.В., Трофимов В.А., Филиппов Ю.А. Измерение дебита дегазационной скважины. // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. – 2023.

На основе комплекса современных геолого-минералогических и химико-аналитических методов исследования пород, образующихся при проходке горных выработок и являющихся отходами добычи руд, разработан новый геополимерный материал и создана геотехнология формирования на его основе изолированных горнотехнических конструкций для подземного сернокислотного выщелачивания. Новый геополимерный материал на основе дацитов обеспечивает набор прочности на одноосное сжатие свыше 20 МПа, гидроизоляцию днищ блоков выщелачивания, устойчивость в растворе серной кислоты концентрацией до 10% с сохранением начальной массы, структуры и прочности, термостойкость.

Полученный результат позволяет расширить минерально-сырьевую базу горнодобывающих предприятий за счет вовлечения в отработку труднообогатимых руд, пригодных для выщелачивания, без выдачи их на поверхность (см. рисунок 15).



**Рисунок 15 - Структура ресурсного потенциала горнотехнических систем по объему добычи и по металлу в руде (на примере меднорудного месторождения)**

Авторы: чл.-корр. РАН Д.Р. Каплунов, проф., д.т.н. М.В. Рыльникова, доц., к.т.н. Д.Н. Радченко, м.н.с. Л.А. Гаджиева

## **2.2. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ДИНАМИКИ ГЕОСФЕР ИМЕНИ АКАДЕМИКА М.А. САДОВСКОГО РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

В 2023 году научно-исследовательские работы горной направленности велись в ИДГ РАН по следующим темам государственного задания:

1. № 122032900172-5 Развитие методов контроля геодинамических процессов разного иерархического уровня, в том числе инициированных техногенной деятельностью (рук. к. ф.-м. н. А.Н.Беседина);

2. № 122032900167-1 Разработка прогнозных моделей реакции флюидных систем земной коры на техногенное воздействие (рук. к.ф.-м.н. Н.А. Барышников);

3. № 122032900178-7 Возникновение и развитие динамической неустойчивости в зонах крупных континентальных разломов под действием природных и техногенных факторов (рук. к.ф.-м.н. А.А.Остапчук).

При поддержке РНФ проводились работы по темам:

1. № 22-17-00204 Геомеханика разломов земной коры – от региональных масштабов до микротрещин (рук. д.ф.-м.н. Г.Г.Кочарян);

2. № 22-27-00643 Исследование распространения и заполнения трещин гидроразрыва при помощи ультразвукового просвечивания (рук. д.ф.-м.н. С.Б.Турунтаев);

3. № 20-77-10087 Применение современных методов анализа данных для решения задач геомеханики разломных зон приповерхностной области континентальной коры (рук. к.ф.-м.н. А.А.Остапчук);

4. № 23-27-00469 «Влияние взрывов и землетрясений на режим подземных вод» (рук. д.ф.-м.н. Э.М.Горбунова).

Кроме того, проводились работы в рамках хозяйственных договоров с различными предприятиями горнодобывающей отрасли.

Ниже кратко изложены некоторые результаты исследований по теме «Развитие методов контроля геодинамических процессов разного иерархического уровня, в том числе инициированных техногенной деятельностью».

### **Аннотация**

Проведено исследование закономерностей проявления сейсмических событий во времени и пространстве, анализ параметров сейсмических событий и скейлинговых соотношений в зависимости от масштаба события. Для оценки влияния структурных и механических свойств локального участка массива на параметры индуцированной сейсмичности проводилось сравнение полученных результатов для сейсмических событий вблизи разломной зоны и на удалении от нее.

На основе анализа большого объема натурных данных, инструментальных измерений сейсмического эффекта массовых взрывов, численных расчетов действия сейсмических колебаний на склоны сформулирован набор критериев обрушения склонов при многократном сейсмическом воздействии. Апробация разработанных правил для оценки устойчивости отвалов вскрышных пород на карьерах Курской магнитной аномалии показала, что массовые взрывы в рассмотренных карьерах радикально не влияют на устойчивость отвалов вскрышных пород. Однако, нарушение работы дренажной системы, поднятие уровня грунтовых вод в отвалах может привести к накоплению необратимых деформаций.

В рамках аппаратурного направления была проведена модернизация и апробация усилителя для расширения частотных характеристик короткопериодных сейсмометров на примере СМ-3КВ. В лабораторных условиях проведена калибровка модифицированного сейсмометра, а также апробация устройства на записях микросейсмического фона, промышленных взрывов и землетрясений.

### **1. Активизация сейсмоакустических событий при разработке месторождений полезных ископаемых закрытым способом**

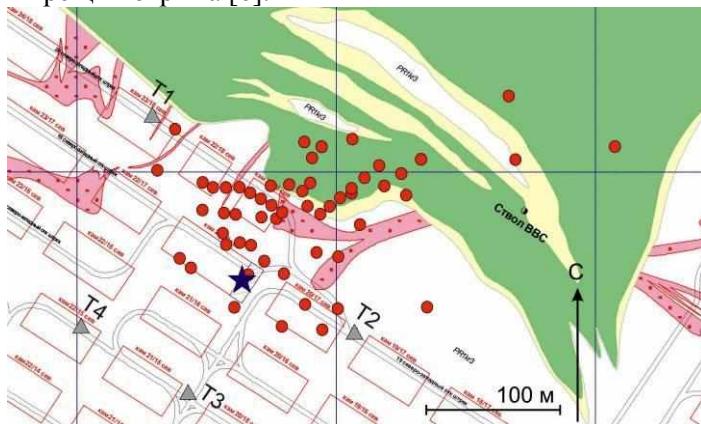
Подземная разработка твердых полезных ископаемых, в том числе на территории Российской Федерации, является одним из важнейших триггеров техногенной сейсмичности.

В рамках работ 2023 года на шахте им. Губкина Коробковского железорудного месторождения КМА (АО «Комбинат КМАруд») проводился анализ последовательности сейсмоакустических событий, индуцированных массовым взрывом.

Сейсмический мониторинг проводится в периоды остановки работы горнодобывающего оборудования в дни проведения массовых взрывов. В 2023 году проанализирована активизация сейсмоакустических событий после массового взрыва (взрыв 3). Регистрация проводилась на два АЦП National Instruments USB-6216BNC с частотой опроса 10 кГц. Для этого около взрывной камеры 21.17сз (рисунок 1) вблизи разломной зоны была установлена малоапертурная сейсмическая группа, оборудованная горизонтальными акселерометрами Bruel&Kjaer8306 и Dytran 3191A1. Общая величина ВВ в камере 21.17сз составила 10440 кг, максимальная величина ВВ в ступени замедления – 672 кг.

Детектирование событий проводилось в спектральной области по превышению порога спектральной плотности мощности (СПМ) квадрата ускорения и далее во временной области по критерию Акаике (AIC). По рассчитанным временам вступлений выполнялась локация сейсмических сигналов с учетом скорости распространения продольных волн равной 5570 м/с [1, 2]. В итоге были определены координаты 64 событий, которые показаны на рисунке 1.

Расчет скалярного сейсмического момента  $M_0$  и угловой частоты источника  $f_0$  проводился путем аппроксимации расчетного спектра смещения модельным спектром Брюна [3]. Излученная сейсмическая энергия  $E_s$  рассчитывается как интеграл квадрата скорости смещения грунта в частотной области с учетом поправки за счет ограниченной частотной полосы датчика. Очаговые параметры ( $M_0$ ,  $f_0$ ,  $E_s$ ) рассчитывались для каждой измерительной точки и затем усреднялись. По значениям сейсмического момента проводилась оценка моментной магнитуды. Для оценки величины сброса напряжения в массиве использовалось соотношение для модели кругового разлома [4]. На основе параметра излучательной эффективности проводилась оценка скорости распространения разрыва для трещин сдвига [5] и трещин отрыва [6].

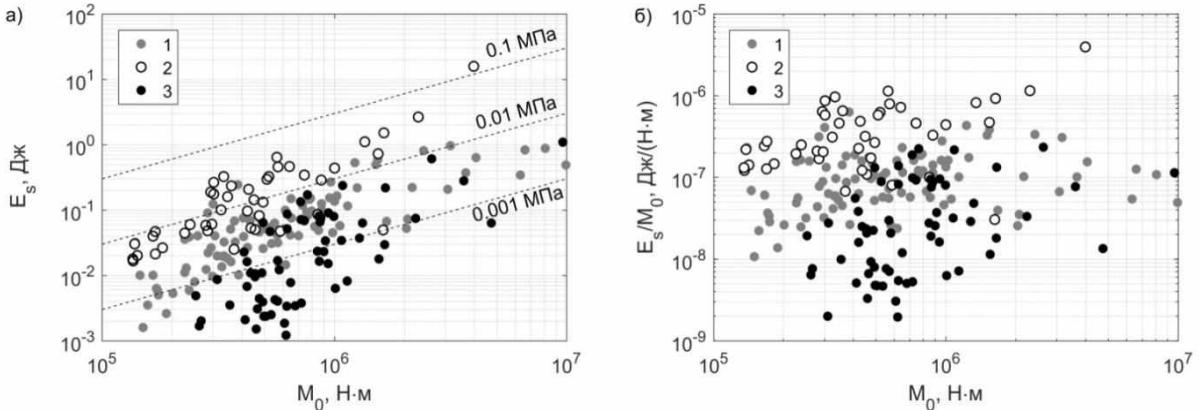


**Рисунок 1 – Очаги сейсмических событий (залитые кружки), зарегистрированных после короткозамедленного взрыва 3 в камере 21.17сз, на плане шахтного поля (горизонт -125 м). Треугольники – измерительные пункты Т1–Т4, оборудованные акселерометрами, звезда – область подрыва в камере. Розовым показано тело разлома. Белая заливка соответствует железорудной свите, желтая – безрудным или слаборудным кварцитам, зеленая – сланцевой свите**

Значения сейсмического момента находятся в пределах двух порядков  $10^5$ – $10^7$  Н·м при угловой частоте источника 70–600 Гц. Полученные значения магнитуд от -2,5 до -1,4 соответствуют радиусам очага от первых метров до первых десятков метров. Величина рассчитанной сейсмической энергии варьируется от 0,0006 до 1 Дж, приведенной сейсмической энергии – от  $2 \cdot 10^{-9}$  до  $2 \cdot 10^{-7}$  Дж/(Н·м) (рисунок 2).

На рисунке 2 данные параметров сейсмических событий для взрыва 3 приведены в сопоставлении с параметрами событий, зарегистрированными после двух других взрывов (взрыв 1 [1] и взрыв 2 [2]). Несмотря на схожие значения сейсмического момента, значения сейсмической энергии и приведенной энергии для взрыва 3 значительно ниже. В отличие от взрывов 1 и 2, сейсмические события для взрыва 3 расположены вдоль разломной зоны

и на границах железорудной и сланцевых свит. Для взрыва 1 также характерно наличие разломной зоны, которая расположена вдоль взрывной камеры; взрывная камера при взрыве 2 расположена на удалении от разлома [2]. Таким образом, более высокие значения энергии  $E_s$  получены для сейсмических событий после взрыва 2, расположенных на удалении от зоны нарушенности.



**Рисунок 2 – Излученная сейсмическая энергия (а) и приведенная сейсмическая энергия (б) в зависимости от величины скалярного сейсмического момента для сейсмических событий, зарегистрированных после трех различных короткозамедленных взрывов 1, 2, 3. События после взрывов 1 и 2 приведены по данным [2]**

Рассчитанные значения скоростей распространения разрыва для индуцированных событий на шахте им. Губкина намного ниже характерных значений при динамических подвижках. Заметим, что для событий, приуроченных к зоне разлома, отмечены более низкие медианные значения скорости распространения разрыва по сравнению с событиями, очаги которых расположены на удалении от разлома, что свидетельствует о влиянии структурных и механических свойств локального участка массива на параметры индуцированной сейсмичности. Полученные закономерности позволяют полагать, что анализ очаговых параметров слабой сейсмичности может дать важную дополнительную информацию о склонности участка к динамическим подвижкам по разломам и крупным тектоническим трещинам.

## **2. Оценка устойчивости отвалов вскрышных пород при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом**

В результате выемки и перемещения породы при ведении горных работ формируются искусственные склоны на горнодобывающих предприятиях, которые подвергаются интенсивному сейсмическому воздействию. Эффективное и безопасное складирование рыхлых пород вскрыши и некондиционных полезных ископаемых имеет большое значение для экономики производства и охраны окружающей среды. Сейсмические колебания являются одним из важных триггеров нарушения устойчивости склонов, находящихся в состоянии близком к предельному равновесию. При этом обвалы и оползни являются одними из наиболее распространенных проявлений при сейсмическом воздействии.

В рамках работ в 2023 году сформулирован набор критериев обрушения склонов при многократном сейсмическом воздействии и проведена апробация разработанных правил для оценки устойчивости отвалов вскрышных пород для ряда карьеров Курской магнитной аномалии (КМА).

Алгоритм принятия решений при оценке возможности инициирования оползня сейсмическим воздействием, в том числе многократным, можно представить поэтапно:

I. По результатам геодезических измерений определяется средний  $\alpha_0$  и максимальный  $\alpha_{max}$  угол наклона откоса.

II. По данным геолого-геофизических обследований строится литологический разрез склона, определяются потенциальные поверхности скольжения, а также уровень обводненности.

III. Определяются эффективные значения сцепления  $C$  и угла трения  $\varphi$  по потенциальным поверхностям скольжения в сухом и водонасыщенном состоянии.

IV. Рассчитывается статический коэффициент устойчивости склона  $FS$  и величина критического ускорения  $a_c$ .

V. В том случае, когда сведения по п.п. (I) –(III) отсутствуют, следует принять значение  $FS \sim 1,05 - 1,5$ .

VI. Критическое условие инициирования оползня сейсмическими колебаниями от землетрясения – достижение уровня ускорений  $PGA_{EQ} \sim 5-10 a_c$ . При оценке устойчивости склона к множественному воздействию, например, воздействие сейсмических колебаний от главного толчка и сильнейших афтершоков, величину критического ускорения следует снизить вдвое.

VII. При оценке опасности инициирования оползня сейсмическим воздействием от массовых взрывов следует рассматривать лишь возможный эффект накопления повреждений из-за достаточно высоких значений  $PGA$  в сейсмовзрывных волнах и длинного цуга колебаний, но относительно малых величин скорости смещения грунта. В этом случае требуется экспертная оценка опасности на основе результатов деформационных или геодезических наблюдений, а также контроль обводненности склона.

Необратимые деформации в толще склона будут возникать в том случае, когда ускорение, вызванное сейсмической волной, будет больше критического значения ускорения  $a_c$ . Однако, судя по результатам расчетов, приведенных в [7], при воздействии сейсмических колебаний от массового взрыва в карьере, потенциально опасным является уровень ускорений выше, по крайней мере,  $20-30 a_c$ . Многократность воздействия может привести к снижению опасного уровня ускорений до уровня  $\sim 10-15 a_c$  [8].

Анализ динамической устойчивости показал, что для наиболее устойчивых откосов при нулевой степени обводненности квазистатическая величина критического ускорения принимает значение до  $a_c \approx 0,28g$ . Соответственно, в этом случае при многократном воздействии массовых взрывов опасным уровнем ускорений в волне ( $\sim 10-15 a_c$ ) являются величины  $\sim (2,8-4,2) g$ . Для наименее устойчивого варианта сухого откоса эта величина снижается до  $(1,6-2,4) g$ . С ростом обводненности критические параметры могут уменьшиться до опасных величин. Так при степени обводненности  $m = 0,5$  для наименее устойчивых участков отвалов опасная величина составляет  $\sim (0,4-0,6) g$ .

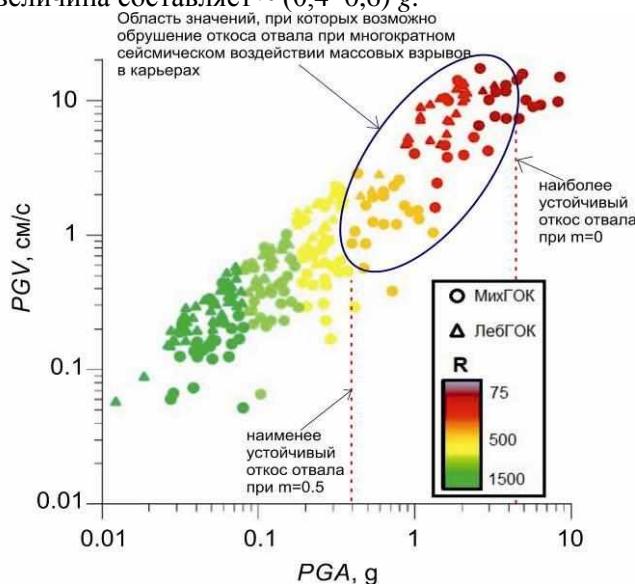


Рисунок 3 – Параметры сейсмовзрывной волны при различных эпицентральных расстояниях ( $R$  в метрах) для карьеров КМА; эллипсом показана область значений, при которых возможно обрушение откоса при многократном сейсмическом воздействии

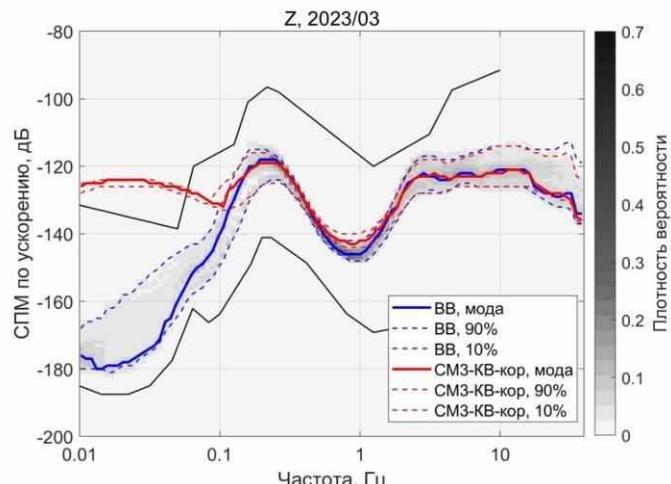
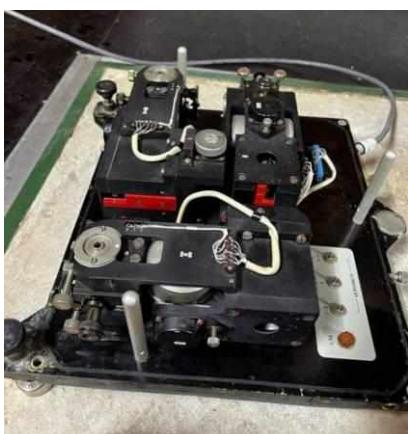
На основе рассчитанных критических значений ускорений проведена апробация методики для ряда карьеров КМА. Параметры колебаний, при которых возможно обрушение наименее устойчивого варианта откоса ( $m=0,5$ ;  $PGV_{min} \approx 0,4g$  и  $PGV_{min} \approx 0,23-2,4 \text{ см/с}$ ), достигаются на эпицентральном расстоянии до 500–700 м от взрываемого блока в карьере (рисунок 3). Поскольку фактическое расстояние от восточной части карьера до западной части

отвала для Лебединского ГОКа около 1500 м, для Стойленского ГОКа – около 1000 м, то в настоящее время сейсмическое воздействие массовых взрывов оказывает слабое воздействие на устойчивость отвалов вскрышных пород.

### 3. Расширение возможностей сейсмической аппаратуры

Методы сейсмического мониторинга включают также концепцию развития приборного оснащения измерительных пунктов. С точки зрения снижения затрат на приборное оснащение весьма перспективным является использование сейсмических датчиков с расширенными характеристиками. Например, короткопериодные сейсмометры с расширенными частотными характеристиками могут служить альтернативой широкополосным датчикам. Применение схем коррекции, разработанных и апробированных в 2023 году, может обеспечить значительное снижение стоимости приборного обеспечения сейсмических наблюдений.

В основе приборного решения лежит схема усилителя, состоящая из двух последовательных каскадов интеграторов. Прототип был разработан для сейсмометра СМ-3КВ с периодом собственных колебаний 2,5 с. На первом этапе апробация схемы усилителя для расширения частотных характеристик СМ-3КВ в область низких частот (далее – СМ-3КВ-кор) проводилась в лабораторных условиях: 1) путем прокачки на вибростенде и 2) с помощью подачи в рабочую калибровочную катушку ступеньки прямоугольного импульса тока. Исследование в лабораторных условиях показало, что удалось восстановить характеристики СМ-3КВ-кор в область низких частот до 0,06 Гц.



**Рисунок 4 – Сейсмометр СМ-3КВ с расширенными характеристиками в 3-компонентном исполнении с открытой крышкой (слева) и плотность вероятности распределения спектральной плотности мощности микросейсмического шума вертикальной компоненты ускорения грунта (справа); черные линии – минимальный и максимальный уровень шума по [10]; красный – данные СМ-3КВ-кор, синий – данные широкополосного датчика: сплошная линия – статистическая мода, пунктир – 10 и 90 процентили**

Далее апробация сейсмометра СМ-3КВ-кор с расширенными характеристиками (рисунок 4а) проводилась в полевых условиях. Для проверки границ применимости датчика СМ-3КВ-кор выполнено сравнение его результатов регистрации с записями эталонного датчика (широкополосный сейсмометр с периодом собственных колебаний 120 с – ВВ) по трем типам данных, которые отличаются по частоте и амплитуде: 1) микросейсмический фон, 2) карьерные взрывы с характерными частотами более 1 Гц и 3) землетрясения с частотным составом преимущественно ниже 1 Гц. Регистрация велась на 24-разрядный регистратор Reftek-130 с частотой опроса 100 Гц.

Проведенный анализ микросейсмического шума позволяет говорить о возможности применения разработанного устройства для регистрации и анализа микросейсмического шума на частотах выше 0,1 Гц (рисунок 4б). Анализ записей взрывов и землетрясений (более интенсивных сигналов) показал, что разработанную схему можно использовать при проведении сейсмического мониторинга с учетом особенностей АЧХ и ФЧХ модифицированных сейсмометров при частотах больше 0,06 Гц.

## **Список литературы**

- 1. Беседина А.Н.** Параметры источников роя микросейсмических событий, инициированных взрывом на Коробковском железорудном месторождении. / А.Н. Беседина, С.Б. Кишкина, Г.Г. Кочарян // Физика Земли. – 2021. – №3. – С. 63–81. – DOI: 10.31857/S0002333721030030.
- 2. Беседина А.Н.** Новый подход к снижению риска крупных техногенных землетрясений, основанный на результатах микросейсмического мониторинга. / А.Н. Беседина, Г.Г. Кочарян // Горная промышленность. – 2023. – № S1. – С. 28–34. – DOI: 10.30686/1609-9192-2023-S1-00-00.
- 3. Gibowicz, S.** An Introduction to Mining Seismology / S. Gibowicz, A. Kijko. – San Diego, USA: Academic Press. – 1994. – V. 55. – 399 p.
- 4. Madariaga, R.** Dynamics of an expanding circular fault / R. Madariaga // Bull. Seismol. Soc. Am. – 1976. – V. 66. – P. 639–666.
- 5. Venkataraman, A.** Observational constraints on the fracture energy of subduction zone earthquakes / A. Venkataraman, H. Kanamori. // J. Geophys. Res. – 2004. – V. 109. – Art. B05302. – DOI: 10.1029/2003JB002549.
- 6. Костров Б.В.** Механика очага тектонического землетрясения/ Б.В. Костров. – М.: Наука. – 1975. – 173 с.
- 7. Кочарян Г.Г.** Инициирование обрушения склона сейсмическими колебаниями от разных источников. / Г.Г. Кочарян, А.Н. Беседина, С.Б. Кишкина, Д.В. Павлов, З.З. Шарафииев, П.А. Каменев. // Физика Земли. – 2021. – №5. – С. 41–54.
- 8. Кочарян Г.Г.** Эффект снижения трения в основании гравитационного оползня под действием сейсмических колебаний. / Г.Г. Кочарян, З.З. Шарафииев, С.Б. Кишкина, Ц. Чен. // ФТПРПИ. – 2022. – №. 2. – С. 3–14. – DOI: 10.15372/FTPPI20220201.
- 9. McNamara, D.E.** Ambient noise levels in the continental United States / D.E. McNamara, R.P. Buland. // Bull. Seismol. Soc. Am. – 2004. – V. 94, №4. – P. 1517–1527. – DOI: 10.1785/012003001.
- 10. Peterson, J.** Observations and modeling of seismic background noise / J. Peterson. // U.S. Geol. Surv. Open-File Report 93-322. – 1993. – P.1–95.

## **Список некоторых публикаций ИДГ РАН 2023 года в рамках научно-исследовательских работ горной направленности:**

- 1. Gorbunova, E.** Hydrogeological Responses to Distant Earthquakes in Aseismic Region. / E. Gorbunova, A. Besedina, S. Petukhova, D. Pavlov // Water. – 2023. – V. 15, №7. – Art. 1358. – P. 1–15. – DOI: 10.3390/w15071358.
- 2. Беседина А.Н.** Новый подход к снижению риска крупных техногенных землетрясений, основанный на результатах микросейсмического мониторинга. / А.Н. Беседина, Г.Г. Кочарян // Горная промышленность. – 2023. – № S1. – С. 28–34. – DOI: 10.30686/1609-9192-2023-S1-28-34.
- 3. Куликов В.И.** Феноменологическая модель для оценки устойчивости отвалов вскрышных пород. / В.И. Куликов, З.З. Шарафииев // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2023. – №5. – С. 78–84. – DOI: 10.15372/FTPPI20230509.
- 4. Иванченко Г.Н.** Анализ природно-техногенной геосистемы с использованием данных компьютерного дешифрирования (на примере массива Дегелен Семипалатинского испытательного полигона). / Г.Н. Иванченко, Э.М. Горбунова // Геофизические процессы и биосфера. – 2023. – Т. 22. - №3. – С. 95–109. – DOI: 10.21455/GPB2023.3-4.
- 5. Санина И.А.** Оценка параметра добродонности по данным наблюдений вдоль профиля «Карьер «Михайловский» – МСГ «Михнево»». / И.А. Санина, Н.Л. Константиновская, О.В. Овчинникова, О.А. Усольцева, С.Г. Волосов, А.Г. Гоев, С.А. Тараков, Н.А. Юдочкин, З.З. Шарафииев // Динамические процессы в геосферах. – 2023. – Т. 15. - №2. – С. 23–37. – DOI: 10.26006/29490995\_2023\_15\_2\_23.
- 6. Кишкина С.Б.** Сильные техногенные землетрясения в районах добычи твердых полезных ископаемых. / С.Б. Кишкина, А.М. Будков, Г.Г. Кочарян // Динамические процессы в геосферах. – 2023. – Т. 15, №2. – С. 38–62. – DOI: 10.26006/29490995\_2023\_15\_2\_38.

**7. Петухова С.М.** Режимы деформирования флюидонасыщенных коллекторов при сейсмическом воздействии по данным прецизионного гидрогоеологического мониторинга (обзор исследований). / С.М. Петухова, Э.М. Горбунова. // Динамические процессы в геосферах. – 2023. – Т. 15. – №4.

**8. Родкин М.В.** Лабораторное моделирование смещений скальных отдельностей при землетрясениях. / М.В. Родкин, З.З. Шарафиев. // Динамические процессы в геосферах. – 2023. – Т. 15. – №4.

**2.3. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ХАБАРОВСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО ОТДЕЛЕНИЯ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО ОТДЕЛЕНИЯ РАН**

В 2023 году научно-исследовательские работы в Институте горного дела ДВО РАН велись по следующим направлениям программы фундаментальных научных исследований:

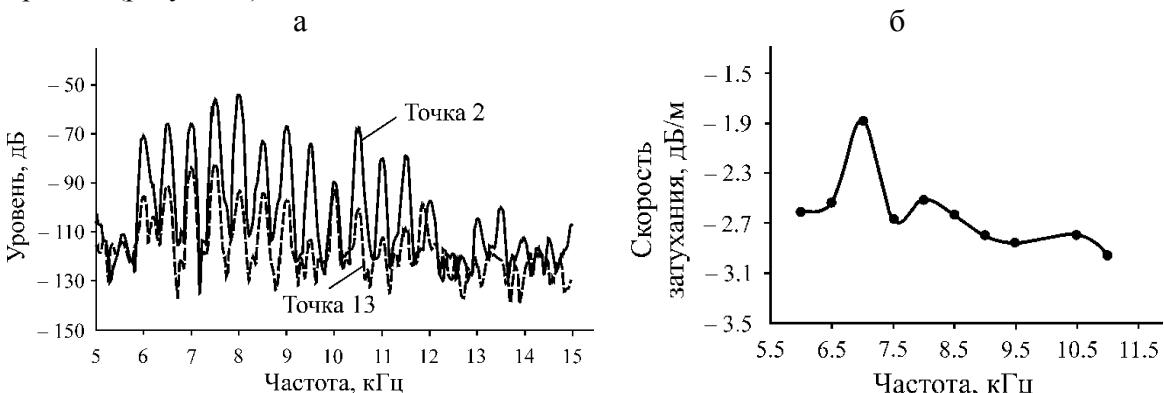
– 1.5.7.2. Комплексная, технологически эффективная и экологически безопасная добыча, обогащение и глубокая переработка минерального сырья.

– 1.5.7.3. Развитие методов мониторинга развития опасных техногенных процессов; обеспечение безопасного ведения горных работ.

– 1.5.7.4. Изучение и моделирование горнотехнических систем и процессов техногенного преобразования недр.

**ГОРНОЕ НЕДРОВЕДЕНИЕ**

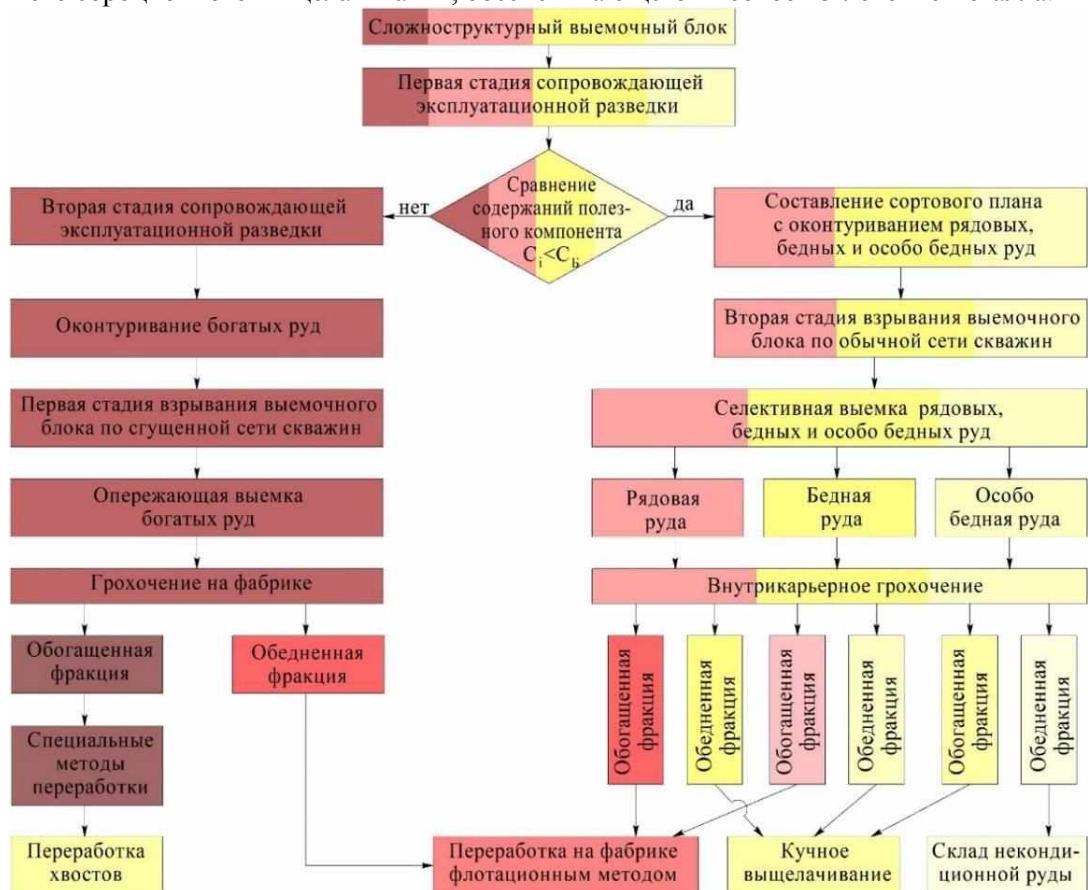
**Геомеханика.** С применением разработанного прибора для контроля и оценки удароопасности «Prognоз-L2» нового поколения, получены экспериментальные данные, отражающие характер геомеханических процессов при формировании очагов разрушения, и выполнен анализ амплитудно-частотных характеристик сигналов акустической эмиссии в условиях интенсивных технологических шумов действующего горнодобывающего предприятия (рисунок 1).



**Рисунок 1 - Параметры АЭ, отражающие свойства и состояние массива горных пород Южного месторождения, опасного по горным ударам: а – спектр многочастотного импульса на расстоянии 2 м (точка 2) и 13 м (точка 13) от источника; б – зависимость скорости затухания волн АЭ от частоты в массиве горных пород**

**Геотехнология.** На основе результатов комплексных аналитических и геотехнологических исследований проб взорванных кварц-серицитовых метасоматитов с разделением их по классам крупности и по сортам руд, выделенных по различным содержаниям металла, разработана схема выемки и переработки руд сложноструктурных месторождений (рисунок 2), которая предусматривает: детальную разведку участков, представленных богатыми рудами путем сгущения сети скважин; опережающую выемку богатых руд; взрывное рыхление оставшейся части сложноструктурного блока с последующей селективной выемкой рудной массы различных сортов; грохочение сортов рудной массы с выделением обогащенных и обедненных полезным компонентом фракций; шихтовка полученных фракций рудной массы,

при этом шихта с рядовым содержанием полезного компонента перерабатывается с применением флотации, бедная рудная масса направляется на кучное выщелачивание, а фракция с повышенным содержанием полезного компонента перерабатывается посредством двухстадийного сорбционного выщелачивания, обеспечивающего высокое извлечение металла.



**Рисунок 2 - Схема добычи и переработки руд сложноструктурного выемочного блока**

Разработана методика повышения объема взорванной горной массы (ВГМ) за один массовый взрыв (МВ) на основе оптимизации организационных и технологических процессов, включая увеличение глубины скважин, внедрения рекомендаций по увеличению площади взрывного блока при уменьшении радиуса опасной зоны по разлету кусков горной массы для механизмов. В результате внедрения данной методики на ООО «Солнцевский угольный разрез» зафиксирован рост соответствующего объема ВГМ за один МВ на 60% в 2022-2023 гг. относительно 2021 года, что позволило: снизить количество МВ и сопутствующие им проблемы, связанными с организацией взрыва; уменьшить разлет кусков ВГМ; повысить уровень производительности и безопасности ведения горных работ; решить ряд других вопросов операционной эффективности, в том числе увеличить производительность оборудования при устранении риска, связанного с дополнительным рыхлением буровзрывным способом между пластами, остающихся после выемки угольных пластов традиционным способом.

В результате проведенной серии лабораторных экспериментальных исследований по изучению влияния циклического затопления-осушения (З-О) горной массы техногенных комплексов россыпных месторождений на параметры миграции частиц золота впервые для частного случая установлена регрессионная зависимость интенсивности изменения содержания золота по глубине  $I_m$  от медианного размера частиц вмещающей горной массы  $d_{50}$  ( $k_{\text{кор}}=0,97$ ):  $I_m = 0,54 \cdot d_{50} - 0,07$ . Полученная зависимость позволяет на стадии проектирования определить пригодность техногенного месторождения к применению технологии формирования обогащенной зоны по фактору «гранулометрический состав», а также оценить время, необходимое для формирования обогащенной зоны. Установлено, что значение

медианного диаметра  $d_{50}=0,3$  мм является граничным условием применения технологии формирования обогащенной зоны по фактору «гранулометрический состав».

В результате анализа литературных источников и данных о запасах и объемах добычи золота ряда природных и техногенных россыпных месторождений Хабаровского края определены наиболее вероятностные границы погрешности подсчета запасов россыпных месторождений золота: для категории А – 10-15%; для категории В – 15-25%; для категории С<sub>1</sub> – 25-45%; для категории С<sub>2</sub> – 45-70%. Показано, что предложенные вероятные границы погрешности согласуются с представленными примерами отработанных россыпных месторождений золота. Результаты исследований позволяют недропользователям и инвесторам точнее оценивать свои риски при выборе участков для разработки, что благоприятно скажется на инвестиционной обстановке.

**Геоинформатика.** Определена зависимость роста экономической эффективности недропользования в ДФО от пространственного распределения месторождений на площади округа, квалификации производственного персонала, развития транспортной и энергетической инфраструктуры региона, научного сопровождения реализуемых и проектируемых инвестиционных проектов, а также наличия многоуровневой региональной системы подготовки квалифицированных кадров для обеспечения высокотехнологичного горного производства. Сформулирована концепция развития регионального транспортно-энергетического каркаса территории, на основе двух важнейших мультиплекативных центров развития – в г. Магадан (Магаданская область, прибрежная Арктическая и Охотоморская территории) и в г. Хабаровск (Хабаровский край, Охотоморская территория).

На основе анализа состояния, структуры минерально-сырьевой базы рудных полезных ископаемых субъектов Дальневосточного федерального округа, а также потребности их разработки, методами исследования геосистем и территориальной организации производств разработана новая концепция освоения и внутрирегионального использования минерально-сырьевых ресурсов олова и интеграционного проекта его освоения и вовлечения в национальную промышленность, что будет способствовать развитию и заселению территории (рисунок 3).

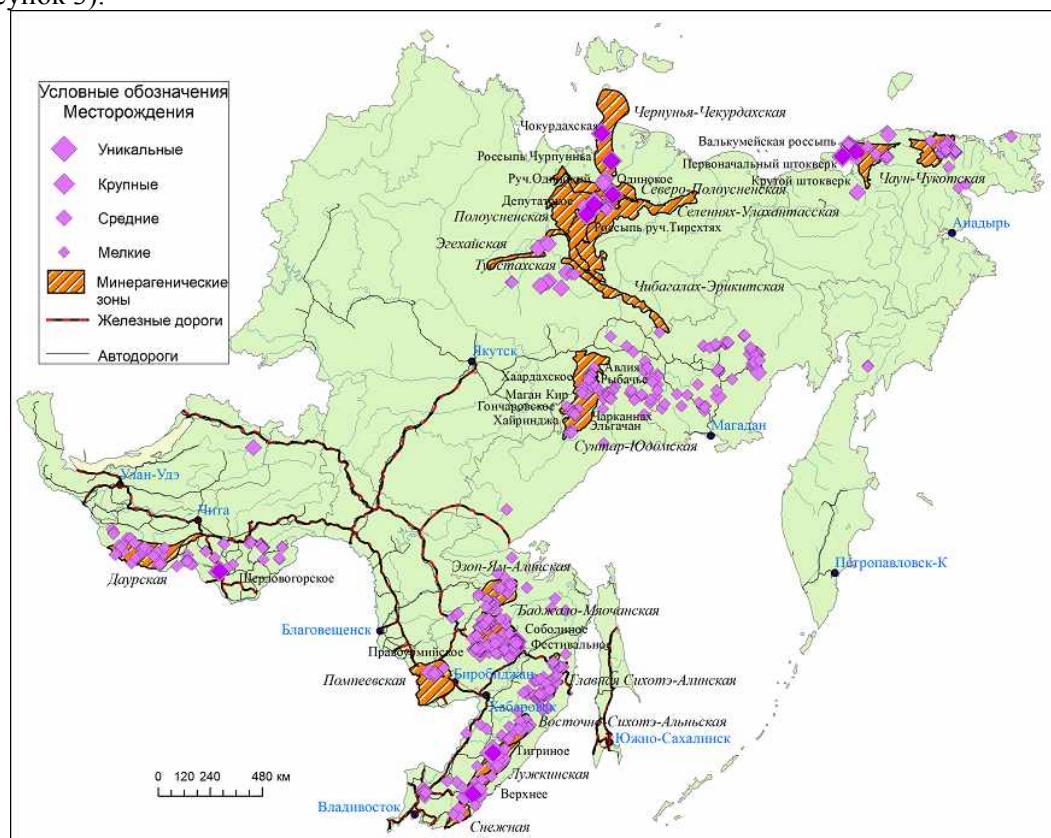


Рисунок 3 - Минерально-сырьевая база оловянной промышленности ДФО

Выполнена оценка социально-экономической эффективности реализации масштабного инвестиционного проекта в Дальневосточном регионе России по созданию вертикально-интегрированного горно-металлургического комплекса с учетом мультиплекативного эффекта, возникающего за счет межотраслевых отношений. Методологический подход базируется на новых принципах: классификации проектов, эффектов, методов оценки принятия решений, что позволяет обосновать приоритетность проектов, направлений и организационно-экономических регуляторов, повышающих эффективность регионального развития, с учетом мультиплекативной оценки. Разработанная методика учитывает: технологические межотраслевые связи, возникающие между предприятиями при реализации проекта; отношения, определяющие превращение затрат или оттока средств при реализации проекта в доходы других участников экономической системы и возникновение эффекта увеличения конечного спроса в региональной экономике.

В рамках направления исследования «Развитие горного комплекса в зонах инфраструктурных проектов»: 1) определена необходимость выделения системообразующего проекта или интегрированных в пределах локальной территории группы горнорудных проектов как основы дальнейшего освоения территории. В качестве интегрирующих рассматриваются Джугджурский (черные металлы, Тугуро-Чумиканский район) и Малмыжский (медь, Нижнее Приамурье) районы, инвестиции в которые превышают 100 млрд рублей по каждому; 2) разработана и апробирована методика выделения перспективных объектов. Для Нижнего Приамурья из 670 мелких месторождений и рудопроявлений выделено 43 перспективных объекта, в Предджурье из 508–27. Апробация прошла на 19 объектах Нижнего Приамурья, прогностическая оценка авторов подтверждена на 15 объектах; 3) установлена специфика перспектив видов минерального сырья каждой территории: Нижнее Приамурье – золото-медь-алюминий-вольфрам-бериллий, для Предджурья – уголь-черные металлы-никель-фосфориты-редкие земли.

**Горная теплофизика.** Разработана методика оценки производительности паралитной скважины, основанная на компьютерном моделировании течения в ее стволе, позволяющая прогнозировать эксплуатационные возможности скважины без проведения трудоемкой и затратной процедуры измерения расходных параметров, использовав для расчета значение максимального рабочего устьевого давления, определяемого в процессе первично-го выпуска, а также параметры, обязательные к определению по окончанию ее строительства. Для примера выполнена оценка производительности типовой по конструкции и энталпии флюида добычной скважины Мутновского месторождения (Камчатка), имеющей максимальное рабочее давление 10 бар.

## ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

**Физические и химические процессы разделения, концентрации и переработки минералов.** Разработаны научные основы доизвлечения золота, находящегося внутри кристаллов ряда минералов (инкапсулированное и химически связанное) и в оксидно-железистых пленках на поверхности мелких и тонких частиц кварца-халцедона, из хвостов гравитационного обогащения песков россыпных месторождений. На их основе создана и апробирована технологическая схема (рисунок 4), предполагающая складирование хвостов в штабели и орошение экологически выщелачивающим раствором до полной пропитки в течение не менее 3-х суток для обеспечения диффузионного окисления и выщелачивания золота. При этом выщелоченное золото накапливается в поровых растворах. После этого, минеральная масса смешивается с водой, а полученная пульпа, совместно с сорбентом порционно загружается в пачуки, в которых производится извлечение сорбентом золота в агитационном режиме. Далее насыщенный золотом сорбент отделяется от пульпы.

Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена эффективность взрыво-инъекционного окисления и последующего выщелачивания активированными растворами ценных металлов из минеральной массы. Взрывоинъекционное окисление представляет собой инициированное взрывом проникновение в раскрывающиеся микротрешины высокотемпературных паров воды и реагентов-окислителей, находящихся в форме ионов

и радикалов, которые образуются в результате термобарического воздействия взрывных газов на исходные растворы и/или воду. Растворы и/или воду размещают в тонкостенных ампулах при непосредственном контакте с зарядом взрывчатого вещества. Во всех экспериментах комбинация взрывного и реагентного воздействия на модельную минеральную среду с добавленным в нее медным порошком, обеспечивала прирост извлечения меди в продуктивный раствор в последующих процессах выщелачивания на 58,34-83,17% в зависимости от применяемого реагента.

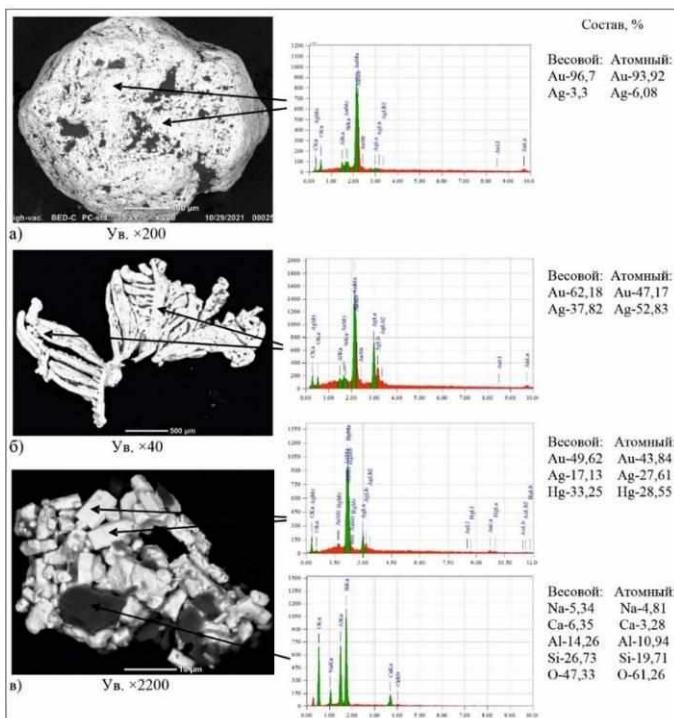


**Рисунок 4 - Схема комбинированной переработки минеральной массы хвостов гравитационного обогащения песков россыпей с кучно-чановым выщелачиванием золота**

Экспериментально доказана эффективность доизвлечения дисперсного золота из отходов горного производства - лежальных сульфидных кеков цианирования с использованием электроактивированных растворов с добавлением реагентов, продуцирующих при электролизе сильные окислители, обеспечивающие вскрытие золотосодержащей сульфидной минеральной матрицы. При этом исходные сульфатные растворы получали путем простого добавления воды в пробу естественно сульфатизированных лежальных кеков до образования пульпы с Т:Ж=1:10 с вводом хлорида натрия (NaCl) и без него. Выщелачивание проводилось при последующем обезвоживании активированной пульпы, в режиме: орошение введенным в раствор экологически чистым комплексообразователем для золота тиокарбамидом не более 2-х %-й концентрации – выстаивание – перколяция. Максимальное извлечение золота из «лежальных» кеков - 79,3% достигнуто после предварительной электрохимической обработки пульпы с добавлением хлорида натрия (NaCl).

При изучении особенностей золота из проб хвостов обогащения шлюзовых концентратов золотороссыпного месторождения ручьёв Покровский-Верный, формирующегося в непосредственной близости от золоторудного месторождения Белая Гора (Хабаровский край), впервые обнаружены наряду с гипогенной амальгамой золота и серебра (вейшанитом (Au, Ag)<sub>3</sub>Hg<sub>2</sub>) (рисунок 5) выделения самородных металлов Fe, Cr, Al, Cu, Zn, Pb и интерметаллидов различной морфологии зёрен, в том числе сферической. Полученные результаты позволяют сделать вывод, что выделение золота и ассоциирующих с ним самородных металлов могло происходить в 3 этапа: 1 – в процессе образования покровов базальтов-андезибазальтов, туфов и брекчий взрывов; 2 – при гидротермально-метасоматических процессах и формировании штокверка золоторудного месторождения; 3 – с флюидами глубинных разломов на отдельных участках.

**Публикации Института.** Сотрудниками Института в 2023 году опубликованы 1 монография, 73 статьи в журналах, в том числе 6 – в зарубежных; 45 опубликованных докладов; в изданиях из перечня ВАК опубликовано 14 статей, индексируемых в базе Web of Science – 21, Scopus – 22.



**Рисунок 5 - Зёрна золота различной морфологии и состава: а) высокопробное золото в виде изометричных кристаллов и сростков; б) дендритовидные выделения золота с высокой примесью серебра (электрум); в) гипогенная амальгама золота и серебра (вейшанит)**

## 2.4. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА ИМ. Н.А.ЧИНАКАЛА СО РАН

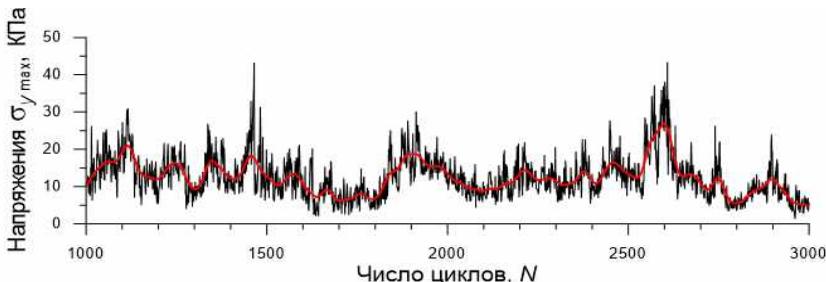
Деятельность ИГД СО РАН осуществляется в рамках трех научных направлений: «Современные геодинамические поля и процессы, вызванные техногенной деятельностью; геомеханика горных пород и их массивов», «Теория разработки месторождений полезных ископаемых и комплексная переработка минерального сырья на основе ресурсо- и энергосберегающих технологий», «Горное и строительное машиноведение».

В 2023 году ИГД СО РАН получены следующие важнейшие результаты:

По направлению: **«Современные геодинамические поля и процессы, вызванные техногенной деятельностью; геомеханика горных пород и их массивов».**

1. Проведен анализ изменения напряжённого состояния сыпучих сред при длительных циклических сдвигах малой амплитуды на основе лабораторных экспериментов и численных расчетов (методом дискретных элементов).

Показано, что в геосреде при большом числе циклов сдвига формируются диссиpативные структуры (кластеры), что приводит к квазипериодическому изменению напряжённого состояния. Амплитуда колебаний напряжений достигает 100% от среднего значения. Процесс изменения напряжений имеет фрактальный характер, показатель Хёрста 0.77 (рисунки 1, 2).



**Рисунок 1 – Квазипериодический характер изменения напряжений с ростом числа циклов сдвига малой амплитуды**

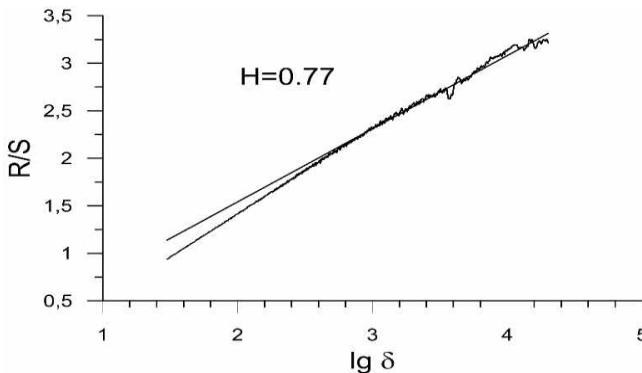


Рисунок 2 – Фрактальный характер изменения напряжений, расчёт показателя Хёрста

Полученный результат является фундаментальным, он объясняет внутренний механизм деформирования геоматериалов при многократных слабых воздействиях. Результат рекомендуется для разработки критериев устойчивости в геомеханических моделях массивов горных пород.

2. Разработан и апробирован в лабораторных условиях способ обнаружения на контакте угольного пласта с вмещающими породами зон ослабления, которые могут являться причиной возникновения внезапных выбросов. Способ основан на решении обратных граничных задач по данным активной томографии, что позволяет выполнить реконструкцию поля напряжений и установить расположение участков с пониженными прочностными характеристиками в кровле и почве угольного пласта (рисунки 3, 4).

Полученные результаты рекомендуются для разработки геомеханических моделей с целью прогноза и предотвращения внезапных выбросов при добыче угля подземным способом.

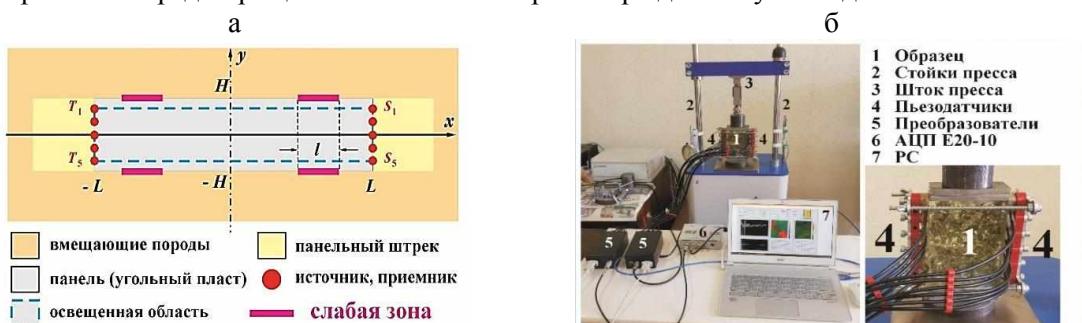


Рисунок 3 – Схема активной сейсмической томографии угольного пласта (а), лабораторная установка для обнаружения зон ослабления (б)

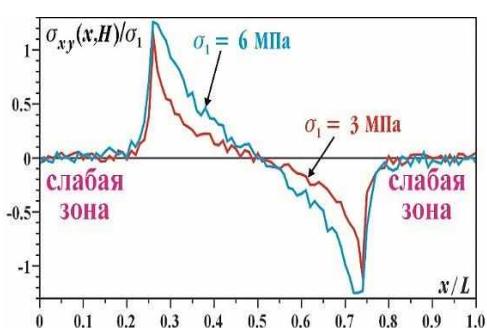


Рисунок 4 – Зоны ослабления, рассчитанные на основе решения обратной задачи по данным прозвучивания образца

3. Рассмотрены возможности использования легких проппантов для повышения эффективности стимулирования газоотдачи угольных пластов методом гидроразрыва. По результатам исследования угольных кернов со сквозной дренажной трещиной показано, что без принудительного раскрытия трещины ее проводимость с ростом горного давления снижается по экспоненциальному закону, что приводит к низкой результативности существующих технологий шахтного гидроразрыва в глубокозалегающих пластах (рисунок 5а).

Для решения проблемы апробированы сплошные и разреженные монослойные упаковки керамических проппантов. Установлено, что расклинивание дренажной трещины керамическим проппантом крупностью 1 мм ведет к повышению проницаемости тестируемых

образцов на один-два порядка. Полученные экспериментальные зависимости проницаемости от горного давления сжатия близки к линейным, что свидетельствует о росте эффекта от применения проппантов для предотвращения смыкания трещин с глубиной залегания пластов (рисунок 5б).

Установлено, что двух- и четырехкратное разрежение монослоя расклинивающих частиц существенно экономит расход проппанта при сохранении удовлетворительной проницаемости угля. Показана целесообразность использования разреженных монослоистых упаковок легких проппантов для повышения эффективности пневмо- и гидродинамических методов стимулирования газоотдачи угольных пластов.

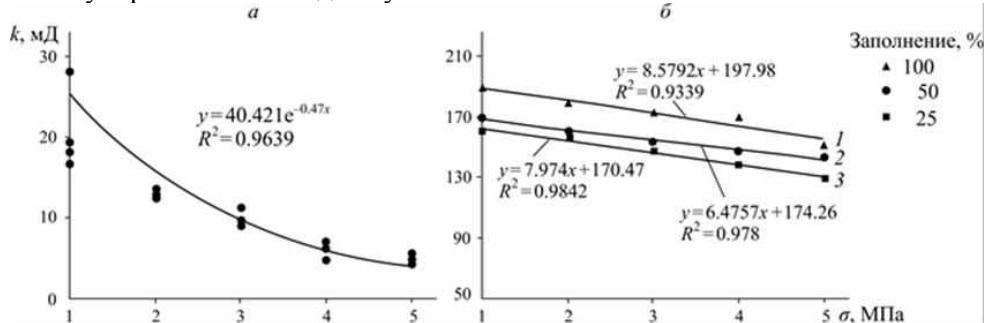


Рисунок 5 – Зависимости средней проницаемости ( $k$ ) угольных кернов, содержащих сквозинную дренажную трещину, от горного давления ( $\sigma$ ): а — без расклинивания проппантом; б — при расклинивании сплошным (100% заполнение) и разреженным (25%, 50% заполнение) монослоем керамического проппанта крупностью 1 мм

4. Для анализа механического поведения природных слоистых геоматериалов проведены испытания при одноосном сжатии образцов сланцевого песчаника (Восточная Сибирь).

Выявлен «зубчатый» характер диаграмм «напряжение–деформация» (рисунок 6), который связан с постепенным срывом слоев материала относительно друг друга в процессе нагружения. Рассчитаны три показателя: локальная удельная упругая энергия, локальный максимум напряжений, локальный модуль деформации. Проведен анализ разброса экспериментальных данных.

Полученные результаты могут быть использованы в качестве основы для прогноза напряженно-деформированного состояния проектируемых или разрабатываемых инженерных объектов (карьеры, тоннели, основания мостов, целики и др.), расположенных в горных породах с подобным механическим поведением.

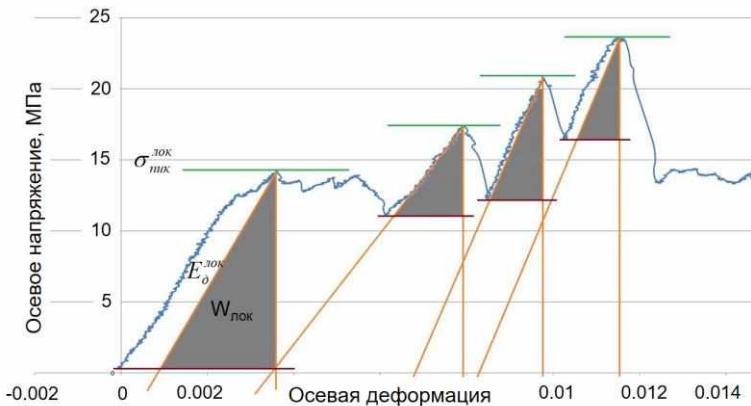


Рисунок 6 – Зубчатая диаграмма «напряжение – деформация» (рассчитывались локальная упругая энергия [ $\text{МДж}/\text{м}^3$ ] (площадь выделенных зон), локальные пики [МПа], предел прочности на сжатие, локальные модули деформации [ГПа])

5. Проведена серия лабораторных испытаний при одноосном сжатии для осадочных горных пород (песчаники, алевролиты, известняки, алевросланцы).

Показано, что различные критерии (по коэффициентам  $K_1$ ,  $K_2$  и  $A$ ) могут давать различные оценки склонности породы к удароопасности (рисунок 7). Установлено, что показатель удароопасности  $A$ , основанный на энергии, является наиболее достоверным.

Полученные результаты носят фундаментальный характер и могут быть использованы для оценки и прогноза динамического разрушения отдельных участков массивов горных пород.

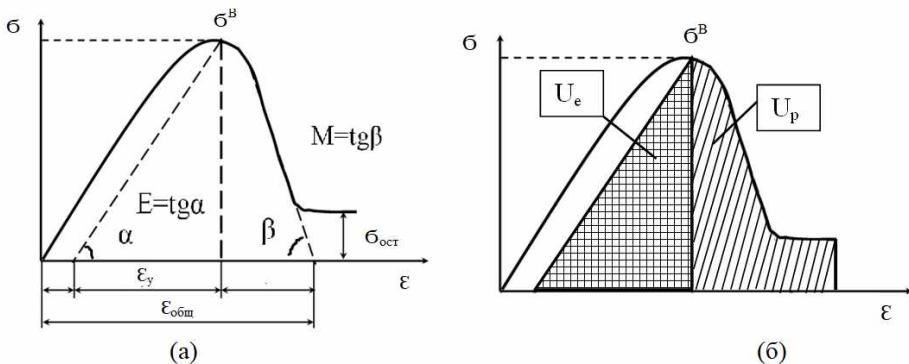


Рисунок 7 – Схематические диаграммы «напряжение–деформация» при одноосном сжатии к определению коэффициентов удароопасности (а)  $K_1=E/M$ ,  $K_2=\epsilon_y/\epsilon_{\text{общ}}$  и коэффициента (б)  $A=U_e/U_p$

6. Разработан алгоритм расчета напряженного состояния массива горных пород при ведении очистных и закладочных работ, учитывающий влияние температурных напряжений. Установлено, что температурный градиент приводит к увеличению уровня исходных сжимающих горизонтальных напряжений и к росту горизонтальных и вертикальных напряжений перед фронтом развития горных работ. Даны расчеты температурного поля и напряженного состояния в массиве (рисунок 8).

Полученные результаты могут быть использованы для проектирования горных работ с закладкой выработанного пространства на больших глубинах.

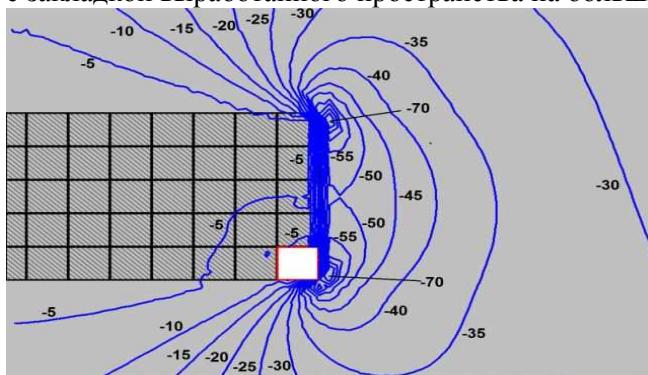
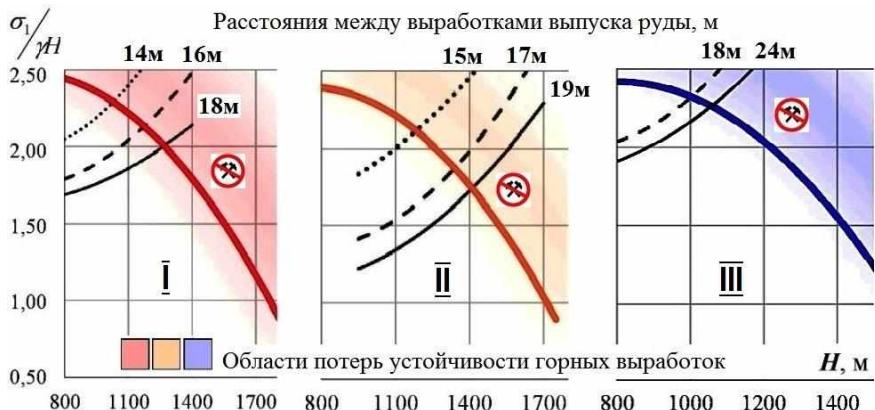


Рисунок 8 – Характер распределения вертикальных напряжений [МПа] в массиве горных пород (глубина отработки 750 м, температурный градиент 3°C, пролет отработки 120 м)

По направлению: «Теория разработки месторождений полезных ископаемых и комплексная переработка минерального сырья на основе ресурсо- и энергосберегающих технологий»

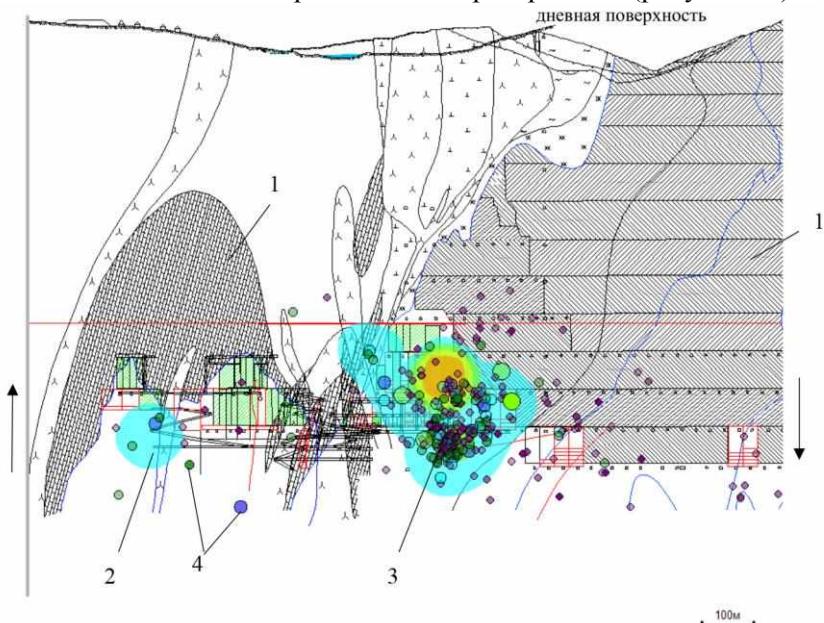
1. На основе геомеханической типизации массивов горных пород установлена область применения и параметры систем подземной разработки месторождений полезных ископаемых с подэтажным и этажным обрушением. С учётом состояния и степени нарушенности геосреды диапазон максимальных глубин добычи для одного и того же варианта технологии изменяется от 600 до 1600 м. Определены зависимости, характеризующие параметры систем разработки и предельные глубины ведения очистных работ в рамках построенных геомеханических моделей породных массивов (рисунок 9). Полученные закономерности с учетом формируемого напряженно-деформированного состояния массива горных пород позволяют установить безопасные глубины применения технологий подэтажного и этажного обрушения при определенных параметрах выемки, а именно расстояния между погружочными выработками (на графиках сплошная ниспадающая кривая – граница перехода от устойчивого к неустойчивому состоянию выработок).



**Рисунок 9 – Коэффициент концентрации ( $\sigma_1/\gamma H$ ) максимальных главных напряжений (где  $\sigma_1$  – максимальные главные напряжения,  $\gamma$  – удельный вес пород,  $H$  – глубина разработки) в кровле очистных забоев и выработок горизонтов доставки руды с ростом глубины разработки для тектонического типа геомеханических условий: I, II – соответственно система подэтажного обрушения с торцевым и площадно-торцевым выпуском руды, III – технология этажного обрушения**

Практическая значимость заключается в установлении дифференцированной глубины и безопасных параметров систем разработки с обрушением применительно к разнообразным по напряженному состоянию массива горных пород условиям отработки мощных крутопадающих рудных залежей. Область применения – проектирование систем разработки подэтажного и этажного обрушения с обоснованными конструктивными параметрами выемки в широком диапазоне горно-геологических и геомеханических условий рудных месторождений.

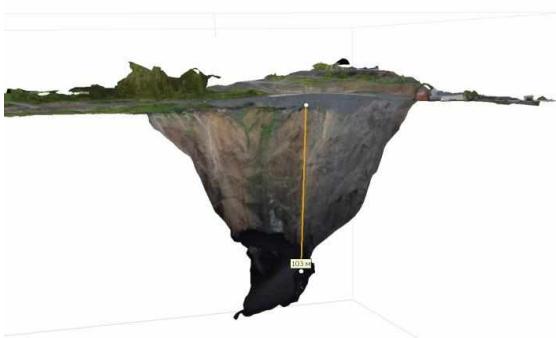
2. На основе установленных закономерностей распределения опасных деформационных и удароопасных зон в условиях высоких горизонтальных напряжений во вмещающем массиве горных пород на глубинах 1000-2000 м разработаны и реализованы технологические решения по схеме вскрытия, отработки и конструктивных параметров геотехнологии освоения богатых руд на месторождениях, опасных по горным ударам, включающие нисходящую и восходящую выемку рудных запасов системами подэтажно-камерного и подэтажного обрушения без и с закладкой выработанного пространства (рисунок 10).



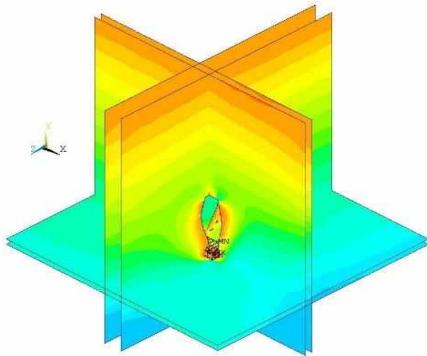
**Рисунок 10 – Нисходящая (↓) и восходящая (↑) разработка рудных участков системами подэтажно-камерной и подэтажного обрушения с закладкой выработанного пространства (1 – на шахтах Горной Шории; 2, 3 – расположение опасных и удароопасных зон в массиве; 4 – очаги толчков с разной энергией)**

Практическая значимость связана с обеспечением безопасности очистных работ и снижением объёма проведения и крепления подготовительных выработок в 1,2-1,3 раза.

3. С использованием комплекса методов гравиметрической и аэрофотосъемки, лазерного и георадарного сканирования, оценки трещиноватости горного массива разработаны геоинформационные модели, применяемые при обосновании параметров систем отработки удароопасных месторождений твёрдых полезных ископаемых (рисунки 11 и 12). При развитии горных работ актуализация моделей, в которых каждый блок обладает определенным набором свойств и параметров, обеспечивается интеграцией данных, получаемых для контроля горного давления системами непрерывного микросейсмического и периодического деформационного мониторинга.



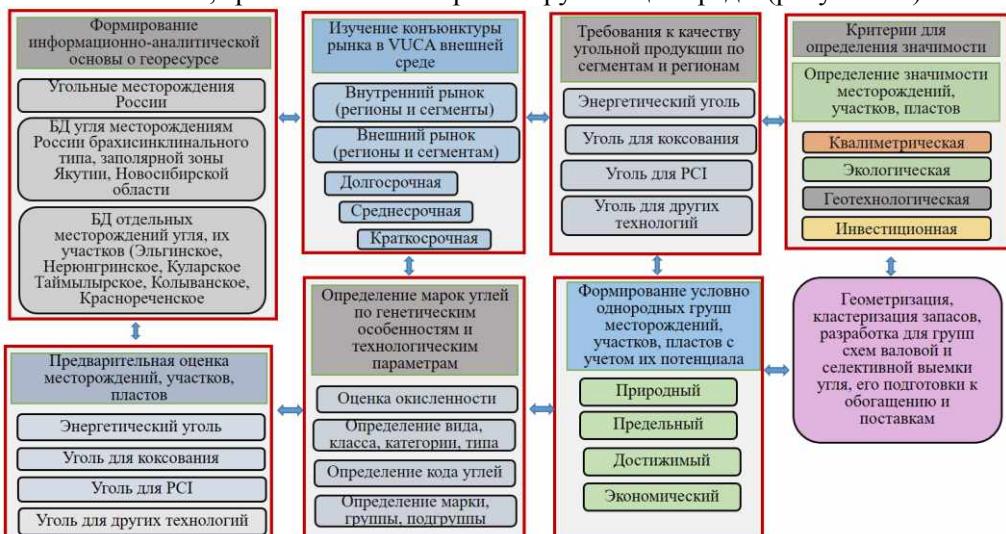
**Рисунок 11 – Трехмерная параметрическая модель провала земной поверхности (участок Подрусловый, Шерегешское месторождение)**



**Рисунок 12 – Геомеханическая модель блока для оценки безопасных параметров системы разработки (Казское месторождение)**

Геоинформационные модели используются в расчетах для определения параметров систем разработки, обеспечивающих безопасность горных работ на удароопасных месторождениях.

4. Обоснованы условия дифференциации угольных месторождений по уровням геотехнологической, квалиметрической, экологической и инвестиционной значимости, учитывающий разнонаправленное влияние одновременно и последовательно действующих факторов, связанных со сложностью строения, многообразием и неоднородностью природных свойств полезного ископаемого и горных пород, горнотехническими условиями освоения, спросом и предложением основных сегментов внешнего и внутреннего рынков на угольную продукцию различного назначения, требованиями к охране окружающей среды (рисунок 13).



**Рисунок 13 - Группы факторов для дифференциации угольных месторождений по значимости**

Комплексная оценка месторождений, их участков и пластов по уровням значимости позволяет формировать после геометризации и кластеризации запасов условно однородные по различным критериям группы объектов недропользования с последующим переходом

к разработке для каждой из них рациональных схем валовой и селективной выемки угля, его подготовки к обогащению и поставкам с учетом требований к качеству угольной продукции различных потребительских сегментов, ориентированных на повышение уровня использования природного потенциала георесурса до достижимого в текущих условиях.

5. Разработан, изготовлен и испытан в лабораторных и шахтных условиях уравновешенный герметизатор. Конструкция герметизатора позволяет доставлять его в скважины диаметром от 76 мм до 130 мм на глубину 180–200 метров. При этом гидроразрывы угольного массива производятся при давлении рабочей жидкости до 12 МПа. Остаточное содержание метана, после проведения поинтервальных гидроразрывов составляет, примерно, 30% от исходного значения.

Предложена кинематическая схема и разработаны чертежи комбинированного устройства (рисунок 14), совмещающего функции бурения скважины Ø76 мм, ее герметизации и проведения гидроразрыва (БГГ). Изготовлен экспериментальный образец устройства БГГ на базе коронки КБЛ-76 и проведены успешные лабораторные испытания его работоспособности с использованием специально созданного стенда.



Рисунок 14 - Устройство для бурения, герметизации и гидроразрыва угольных пластов

6. Разработан механизм активации флотации ионами металлов. Установлены основные факторы, определяющие возможность его использования при флотации труднообогатимых сульфидных и не сульфидных руд. Показано, что активация обусловлена поверхностноактивными свойствами по отношению к границе раздела «газ-жидкость» соединений катионов или первых гидроксидов металла с собираителем. Указанные соединения сокращают время формирования флотационного комплекса в результате их растекания по пузырьку, захвату и удалению жидкости из прослойки между пузырьком и частицей. Основными факторами, влияющими на собирательные свойства, являются: отношение мольных концентраций ионов металла и реагента-собирателя, pH флотационной системы. Предложен критерий активности физически сорбируемых первых гидроксидов с собираителем – скорость растекания физически сорбируемых собираителей на границе раздела «газ-жидкость» (рисунки 15 и 16).

Значимость результата заключается в возможности прогнозирования результатов флотации в условиях повышенного содержания ионов металлов в пульпе, сокращения сроков выбора эффективных реагентов-собирателей для флотации, подбора композиций собираителей.

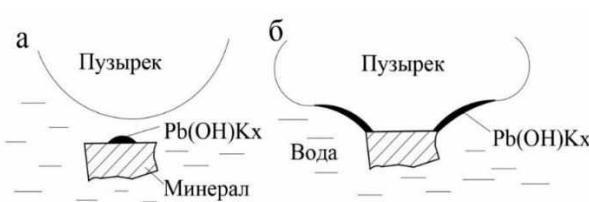


Рисунок 15 – Формирование флотационного комплекса «минеральная частица-пузырек газа», определяемое скоростью растекания гидроксиксантогенатов

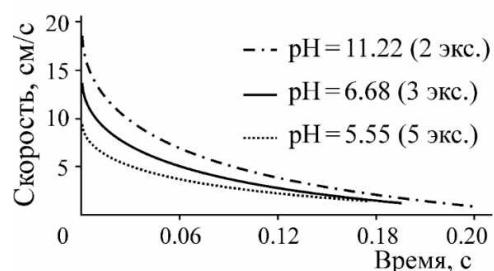
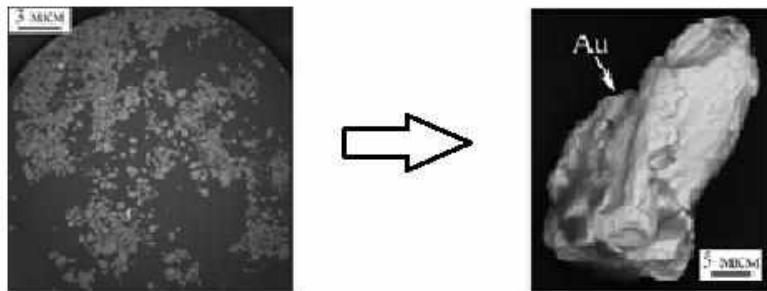


Рисунок 16 – Скорость растекания продуктов взаимодействия хлорида железа с бутиловым ксантофенатом на поверхности воды в зависимости от времени, pH флотационной системы.  
Концентрация хлорида железа.  
 $1 \cdot 10^{-1}$  моль/л. Мольное соотношение хлорид железа : ксантофенат, 1:1

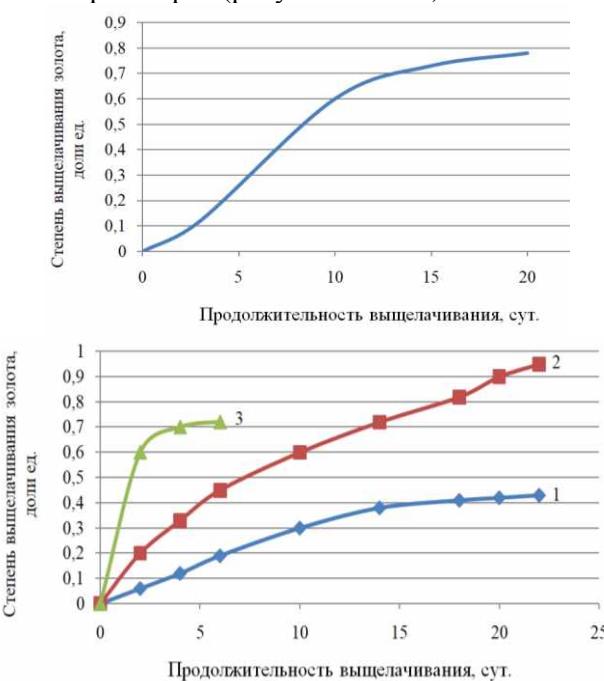
7. Установлено, что при радиационно-термической обработке железистых бокситов Вежаю-Ворыквинского месторождения, имеющих в своем составе различные микроэлементы (Al, Au, Pb, Cu, Zn, Sn, Ta, Nb, Zr, лантаноиды, другие соединения и минералы), появляются новые образования в виде хорошо обособленных индивидов. Они варьируют по форме от изометрических до игольчатых и размеру от субмикронного до 0,5 мм (рисунок 17) и удовлетворяют требованиям разделения классическими методами обогащения (гравитационными, магнитными и другими).



**Рисунок 17 – Схема радиационно-термической модификации рассеянного золота в исходном веществе бокситов золота в самородное золото**

Использование выявленного эффекта фазовой гетерогенизации позволяет повысить извлечение из железистых бокситов в концентрат алюминия и других ценных компонентов для расширения минерально-сырьевой базы.

8. По результатам лабораторных исследований золотосодержащих руд и техногенного минерального сырья ряда месторождений Забайкалья установлено, что их оптимальная крупность при скоростном активационном выщелачивании составляет  $-3\text{--}10$  мм, продолжительность окомкования от 5 до 30 мин при влажности 7%. Выщелачивание золота насыщенными кислородом цианидными растворами и применение «поршневого» режима орошения штабеля сокращает продолжительность процесса извлечения драгоценного металла из минерального сырья в 3-4 раза и на 10-15% повышает концентрацию золота в продуктивных растворах (рисунки 18 и 19).



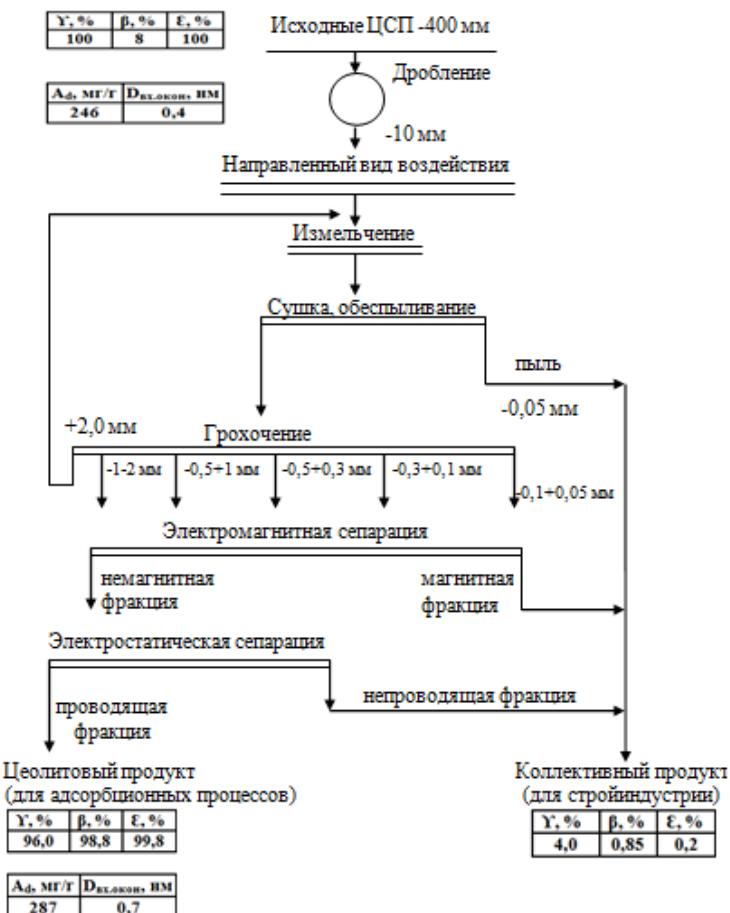
**Рисунок 18 – Результаты полупромышленных испытаний по скоростному выщелачиванию золота из окисленной руды месторождения «Погромное» (крупность 10 мм)**

**Рисунок 19 – Увеличение степени выщелачивания золота из золотосодержащего гравитационного концентрата при увеличении мольной доли кислорода: 1) при нормальных условиях на воздухе; 2) в атмосфере кислорода и давлении  $1 \text{ кгс}/\text{см}^2$ ; 3) в атмосфере кислорода и давлении  $10 \text{ кгс}/\text{см}^2$**

Метод скоростного активационного выщелачивания руд и техногенного минерального сырья позволяет извлекать золото на уровне 70-85%.

9. Разработана технология обогащения цеолитсодержащих пород Восточного Забайкалья с обработкой их в стадии рудоподготовки ускоренными электронами (2 кГр) и мощными электромагнитными импульсами (частота следования 125 Гц, напряжение 44 кВт, длительность фронта импульса 1–50 нс, напряженность электрической компоненты поля – 1010 МВ/м), позволяющая получать высококачественную цеолитовую продукцию (размер входных окон 0,7 нм, адсорбционная ёмкость 154–246 мг/г) для применения при: селективной очистке и обезвреживании от радионуклидов, мышьяка, нефтепродуктов; захоронении и рекультивации техногенного сырья (рисунок 20).

Предложенная технология может использоваться для производства из природного цеолита высококачественного адсорбента и его последующего применения в различных отраслях при очистке от опасных и потенциально опасных элементов и примесей и их обезвреживании.



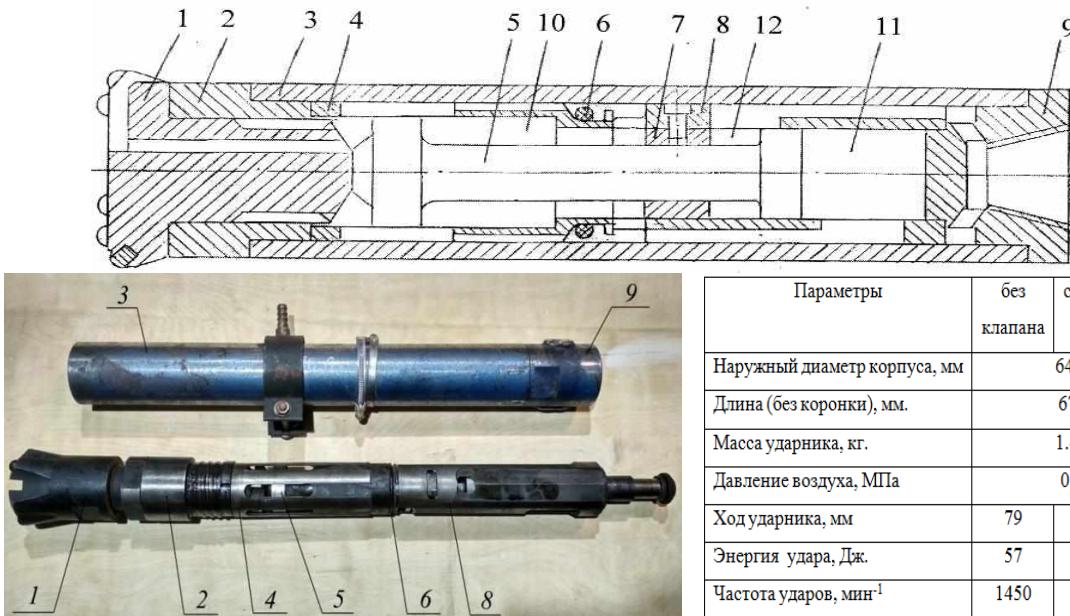
**Рисунок 20 – Технологическая схема переработки цеолитсодержащих пород с обработкой в стадииrudоподготовки ускоренными электронами и мощными электромагнитными импульсами**

По направлению: «Горное и строительное машиноведение»

1. Разработан, изготовлен и испытан на руднике «Таймырский» ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель» экспериментальный образец погружного пневмоударника с использованием разрядного клапана (рисунок 21).

Особенностью конструкции является введение вспомогательной клапанной системы 6, позволяющей при неизменных габаритных размерах пневмоударника увеличить скорость бурения по сравнению с прототипом, или работать на более низком давлении энергоносителя с сохранением энергии единичного удара, достаточной для разрушения горной породы.

Результаты исследований показали, что введение разрядного клапана позволяет увеличить рабочий ход ударника на 18% и повысить энергию удара на 25% по сравнению с пневмоударником без клапана, что обеспечит увеличение скорости бурения скважин.



**Рисунок 21 – Принципиальная схема погруженного пневмоударника с режимом разрядки рабочих камер:** 1 – буровая коронка; 2 – букса; 3 – корпус; 4 – гильза передняя; 5 – ударник; 6 – эластичный клапан; 7 – кольцо разрезное; 8 – гильза задняя; 9 – переходник; 10 – кольцевая камера рабочего хода; 11 – торцевая камера рабочего хода; 12 – камера холостого хода постоянного давления

2. Разработан, изготовлен и испытан экспериментальный образец пневмоударной машины, которая является прототипом пневмомолотов, погружных пневмоударников, предназначенных для реализации технологических процессов, в которых требуется изменять параметры ударного воздействия на породный массив. Машина позволяет регулировать величину энергии и частоты ударных импульсов в процессе работы без остановки машины (рисунок 22). За счет выбора режима ударно-импульсного воздействия в соответствии с физико-механическими свойствами горных пород минимизируется энергоемкость процессов их разрушения.

Методами численного моделирования и экспериментальных исследований определены конструктивные и динамические параметры, при которых энергия ударных импульсов изменяется в 1,5-2 раза, а их частота в процессе регулирования изменяется разнонаправлено с энергией, то есть при уменьшении энергии частота импульсов увеличивается, и наоборот. За счет этого минимизируется потеря ударной мощности при переходе на меньшую энергию ударных импульсов в процессе регулирования и снижается энергоемкость процесса бурения.

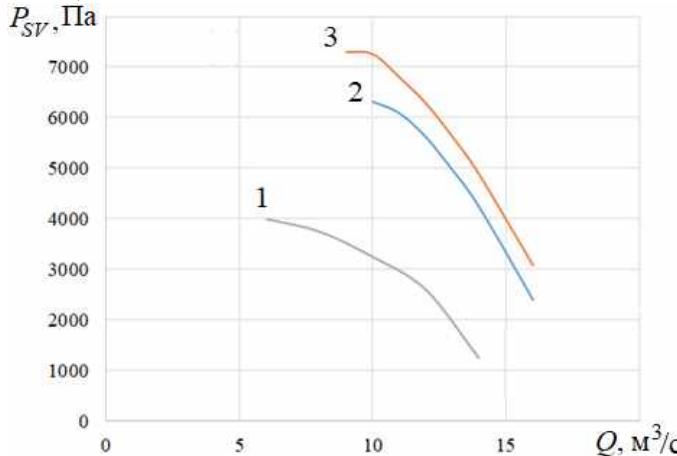


**Рисунок 22 – Модель пневмоударной машины с регулируемой энергией ударных импульсов.**  
Д2 – датчик измерения давления в камере холостого хода; ДП – датчики перемещения;  
МН – манометр

Применяемый на практике способ уменьшения энергии ударных импульсов за счет ограничения количества подаваемого энергоносителя приводит к одновременному уменьшению частоты ударов. В результате ударная мощность уменьшается значительно быстрее, чем энергия, соответственно уменьшается и производительность работы.

В разработанной новой машине при регулировании энергии ударных импульсов в сторону уменьшения, частота ударов наоборот увеличивается. За счет этого темп одновременного снижения ударной мощности уменьшается.

3. Разработаны аэродинамические схемы вентиляторов местного проветривания для шахт и рудников, в том числе со сдвоенными лопатками рабочего колеса, с производительностью на 22-30% большей, чем выпускаемые аналоги (рисунок 23). Схемы отличаются возможностью наращивания количества ступеней для увеличения создаваемого давления, и адаптации аэродинамических параметров вентиляторов к изменяющимся параметрам вентиляционной сети.



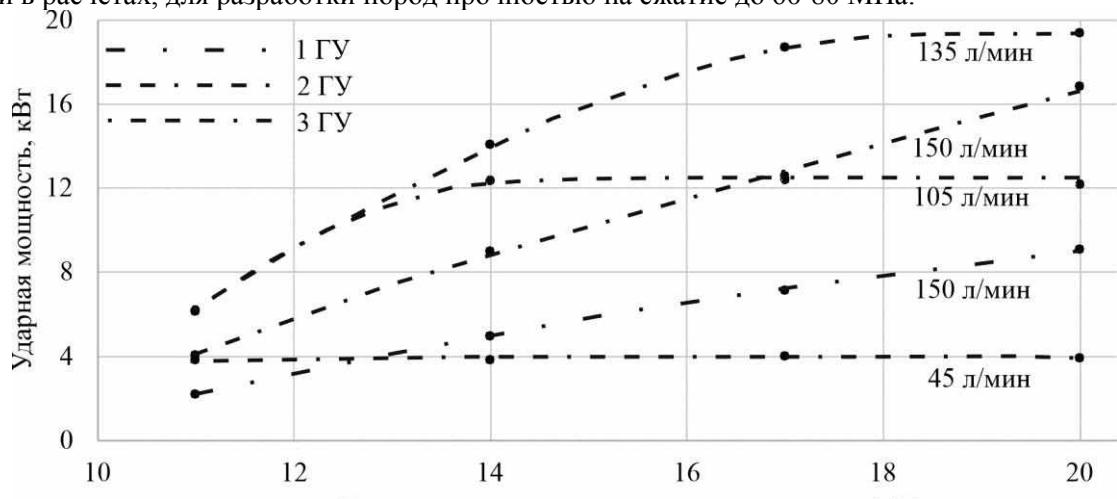
**Рисунок 23 – Аэродинамическая характеристика осевой ступени ИГД ВМ-8 3000 об/мин со втулочным отношением 0,7 в сравнении с выпускавшим вентилятором ВМЭ-8:** 1 – ВМЭ-8; 2 – ИГД ВМ-8 по схеме Рабочее колесо + спрямляющий аппарат; 3 – ИГД ВМ-8 по схеме Входной направляющий аппарат + рабочее колесо + спрямляющий аппарат

4. Разработана схема управления системой гидроударных устройств (ГУ) исполнительных органов горных машин, включающая редукционный клапан на входе и ГУ с возможностью регулировки энергии удара, позволяющая существенно (на 25% и более) снизить подачу жидкости к системе ГУ.

На рисунке 24 приведены графики зависимостей суммарной ударной мощности системы из трех ГУ (с ударниками массами 5.2 кг) от давления настройки редукционного клапана для различного количества одновременно работающих устройств.

Графики показывают возможность регулировки ударной мощности в диапазоне 6-19 кВт, при трех одновременно работающих ударных устройствах и расходе 105-135 л/мин.

Разработанная схема управления позволяет использовать систему ГУ в составе гидросистемы экскаватора 2-й размерной группы, параметры маслостанции которого использовали в расчетах, для разработки пород прочностью на сжатие до 60-80 МПа.



**Рисунок 24 – Зависимости суммарной ударной мощности системы ГУ от давления настройки предохранительного клапана**

## 2.5. ИНСТИТУТ УГЛЯ ФЕДЕРАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЦЕНТРА УГЛЯ И УГЛЕХИМИИ СО РАН

### Технология разработки мощных пластов с выемкой на всю мощность с выпуском угля из подкровельной толщи в подсечной слой

В Институте угля ФИЦ УУХ СО РАН разработаны новые технические решения, направленные на повышение эффективности разработки мощных пологих пластов с выпуском угля подкровельной толщи на забойный конвейер, что открывает новые возможности создания механизированных крепей.

Средствами имитационного моделирования показано наличие в технологии явления «разворота» горного массива непосредственно перед началом выпуска угля, что обеспечивает повышение полноты извлечения полезного ископаемого при сохранении его качества.

Проведены исследования оценки потерь угля и доли породы в выпущенном объеме горной массы, позволяющие для конкретных условий получать сырье требуемого качества при приемлемом уровне потерь.

Для автоматизированной системы управления определены взаимные сочетания значений угла наклона заслона и скорости возвратно-поступательного движения питателя во время выпуска угля подкровельной толщи на забойный конвейер, позволяющие обеспечить управляемость процесса и полноту заполнения лавного конвейера.

Установлено, что волновой режим выпуска угля обеспечивает более стабильное, равномерное и полное заполнение конвейера по сравнению с другими режимами (рисунок 1).

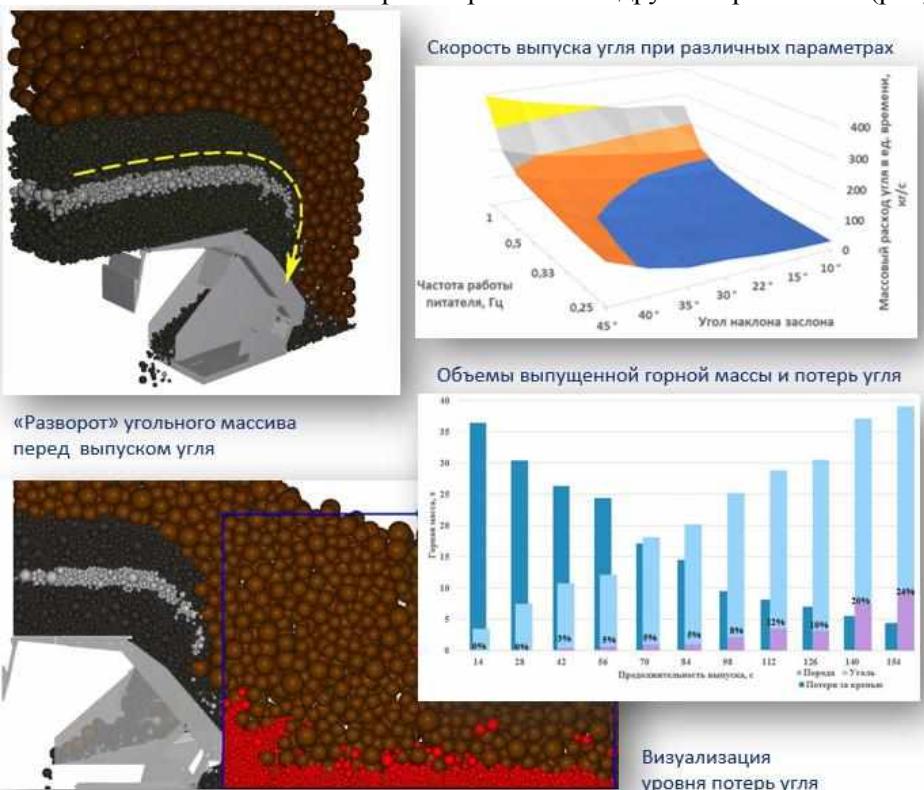


Рисунок 1 – Исследование технологии разработки мощных пластов с выемкой на всю мощность с использованием имитационного моделирования

1. Klishin, V.I., Starodubov, A.N., Kramarenko, V.A., Kadochigova, A.N., Kaplun, A.V. (2023). Analysis of Coal Outlet Parameters by Simulation Modeling of Longwall Top Coal Caving. Journal of Mining Science, 59(4), P. 565-571. DOI: 10.1134/S1062739123040051.

2. Starodubov A.N., Kadochigova A.N., Kaplun A.V. Application of the discrete element method for simulation of coal mining by a cutter-loader in a working face. Russian Mining Industry. – 2023. – №S2. – P. 150–154 DOI: 10.30686/1609-9192-2023-S2-150-154.

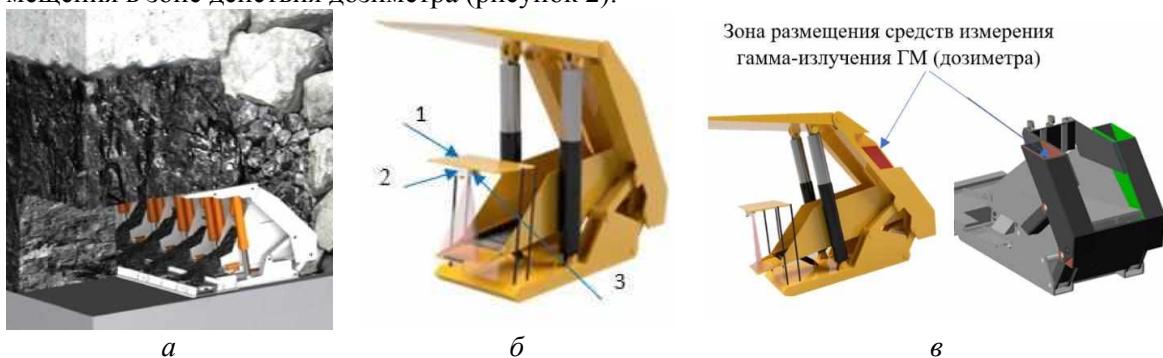
3. Патент на изобретение № 2799293 Российской Федерации. Способ разработки мощного пласта с крепким углем и труднообрушаемыми породами кровли. № 2023108319; заяв. 04.04.2023; опубл. 04.07.2023: / В.И. Клишин, Б.А. Анферов, Л.В. Кузнецова, С.М. Никитенко, С.И. Связев; патентообладатель ФИЦ УУХ СО РАН.

### ***Разработка системы управления питателем секции механизированной крепи в технологии с выпуском угля подкровельной толщи***

Разработан метод регулирования производительности кареточного питателя секции механизированной крепи, обеспечивающий измерение объема выпускаемой горной массы (ГМ) за заданный временной интервал, при этом для автоматизированного расчета объем выражается в виде усредненной суммы объемов параллелепипедов, построенных с заданной дискретностью на основе распознанных машинным зрением значений высот слоя ГМ на измерительном участке.

В лабораторных условиях исследована естественная радиоактивность ГМ с различным соотношением угля и пустой породы. Получена зависимость мощности эквивалентной дозы естественного гамма-излучения ГМ от зольности на примере представительной пробы. Установлено, что для изучаемой в ходе исследования представительной пробы угля мощность эквивалентной дозы естественного гамма-излучения угля с увеличением его зольности изменяется по экспоненте, с резким падением на участке от 25% до 35%.

Разработан алгоритм регулирования положения шиберной заслонки секции механизированной крепи для своевременного завершения процесса выпуска на основе автоматизированного контроля естественной радиоактивности ГМ, позволяющий контролировать подход породы еще до попадания ее на питатель секции, а также обеспечивающий необходимое время для измерения естественного гамма-излучения угля за время его перемещения в зоне действия дозиметра (рисунок 2).



**Рисунок 2 – Секция механизированной крепи с управляемым выпуском на забойный конвейер и её элементы: а – секции в составе механизированного очистного комплекса в процессе выпуска; б – схема размещения элементов системы контроля объема ГМ над выпускным лотком питателя, где: 1 – элемент переходного мостика над питателем, 2 – система машинного зрения с видеокамерой, 3 – проектор световых маркеров; в – предполагаемое расположение дозиметров внутри конструкционных элементов секции крепи с управляемым выпуском**

Разработана структура системы автоматизированного управления очистным механизированным комплексом с управляемым выпуском подкровельной толщи, учитывающая: разделение режимов работы очистного механизированного комплекса и способ интеграции оборудования, контролирующего выпуск в систему управления секций механизированной крепи, возможность применения серийно выпускаемых систем управления механизированными очистными комплексами без изменения их программно-аппаратных функций.

Разработан алгоритм автоматизированного управления выпуском подкровельной толщи, учитывающий технологические особенности управляемого выпуска на забойный конвейер с применением качающегося питателя, в том числе, особенности разгрузки питателей данного типа при работе группой на конвейер, учет подхода ГМ с высоким содержанием породы к выпускным окнам секций крепи, как до начала, так и в процессе выпуска (рисунок 3).



**Рисунок 3 – Схема подключения оборудования контроля процесса выпуска подкровельной толщи к пульту управления с использованием УСУ**

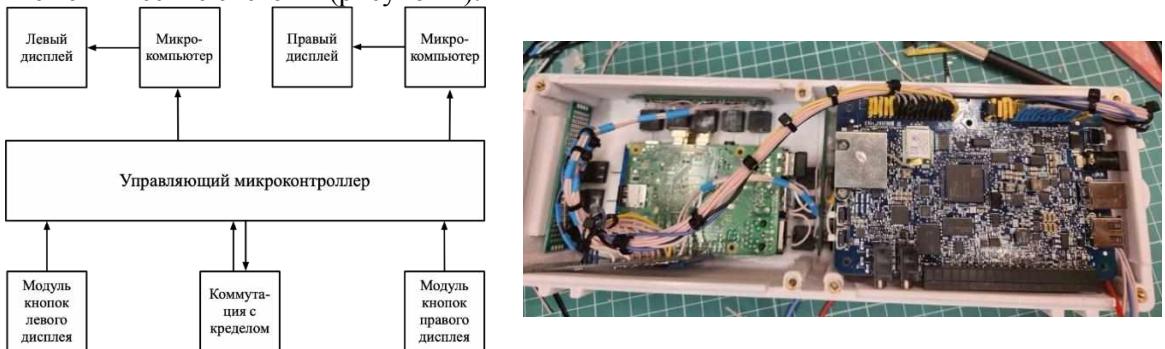
**1. Баловнев Е.А., Худоногов Д.Ю., Попинако Я.В., Кизилов С.А., Каменная А.В.**

Программная реализация управления стендом для исследования радиационных свойств угля и вмещающих пород. // Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – 2023. – №9. – С. 228-233.

2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023689244 РФ. Программа управления питателем и положением шиберной заслонки по данным измерения естественной радиоактивности и объема горной массы. № 2023687884: заявл. 14.12.2023: опубл. 27.12.2023 / С.А. Кизилов, М.С. Никитенко, Д.Ю. Худоногов; патентообладатель ФИЦ УУХ СО РАН.

**Разработка универсального перепрограммируемого пульта для дистанционного управления электро-гидрооборудованием промышленного назначения**

Пульт выполнен с учетом требований и рекомендаций к эргономике использования. Новизна заключается в применение архитектуры управления, позволяющей адаптировать (перепрограммировать) интерфейсную часть и физические органы управления под различные технические системы (рисунок 4).



**Рисунок 4 – Структурная схема устройства пульта управления и его внутреннее устройство**

Создан и представлен на выставке действующий прототип аппаратной части пульта управления, показанный на рисунке 5.



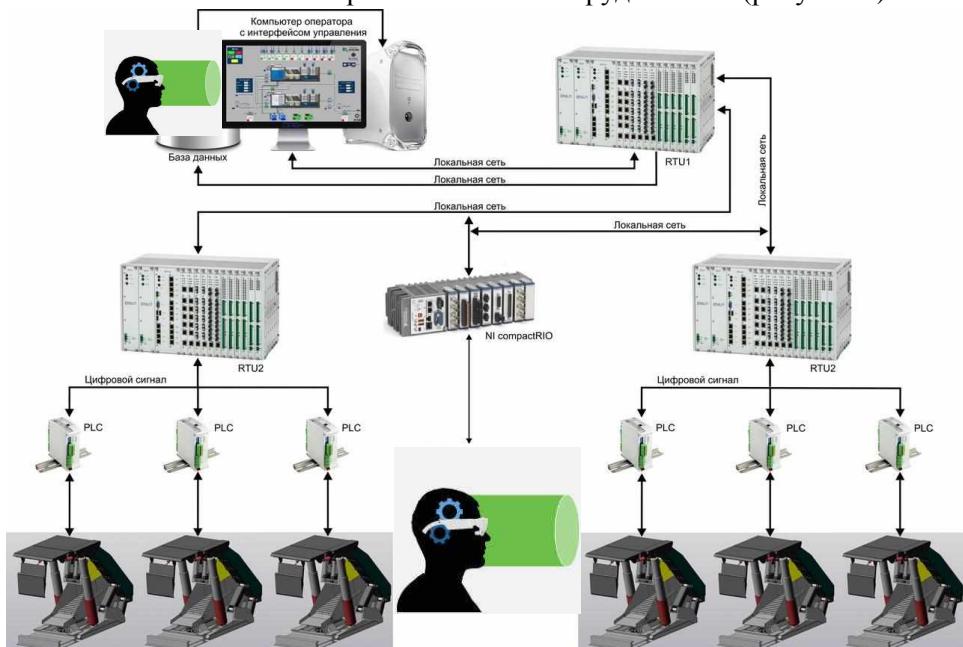
**Рисунок 5 – Прототип пульта управления электро-гидрооборудованием**

1. Патент на промышленный образец № 134982 Российской Федерации. Пульт управления электро-гидро-пневмосистемами: № 2022503531: заявл. 15.08.2022: опубл. 19.01.2023. / М. С. Никитенко, С. А. Кизилов, С. М. Никитенко, Д. Ю. Худоногов; патентообладатель ФИЦ УУХ СО РАН.

***Разработка способа взаимодействия между цифровыми двойниками технологических объектов в виртуальной реальности и их физическими макетами***

Разработан способ и программа, обеспечивающие взаимодействие между технологическим оборудованием и его цифровыми моделями в виртуальной реальности. Полученные данные позволяют проводить тестирование и отладку алгоритмов управления, проводить обучение по программированию контроллеров и виртуальных интерфейсов.

Система может быть интегрирована в состав действующих на предприятиях АСУТП, где физический макет заменяется промышленным оборудованием (рисунок 6).



**Рисунок 6 – Структурная схема интеграции цифровых моделей промышленных объектов в АСУТП**

Способ взаимодействия оператора с объектами управления в модифицированной АСУТП выглядит следующим образом. Экран компьютерного терминала оператора в графическом виде отображает объекты управления в среде виртуальной реальности с контролируемыми параметрами и органами управления, позволяющими взаимодействовать оператору в реальном времени технологического процесса. Способ взаимодействия оператора с виртуальными объектами с использованием штатных контроллеров (пультов управления) обеспечивает максимальную интуитивность и наглядность работы в АСУТП, что обеспечивает возможность управления всеми имеющимися на данный момент функциями управления промышленными объектами.

**1. Худоногов Д.Ю., Никитенко М.С., Малахов Ю.В., Кизилов С.А.** Разработка web-ориентированных приложений для управления промышленными объектами на примере механизированной шагающей крепи. // Уголь. – 2023. – № S-12. – С. 111-116.

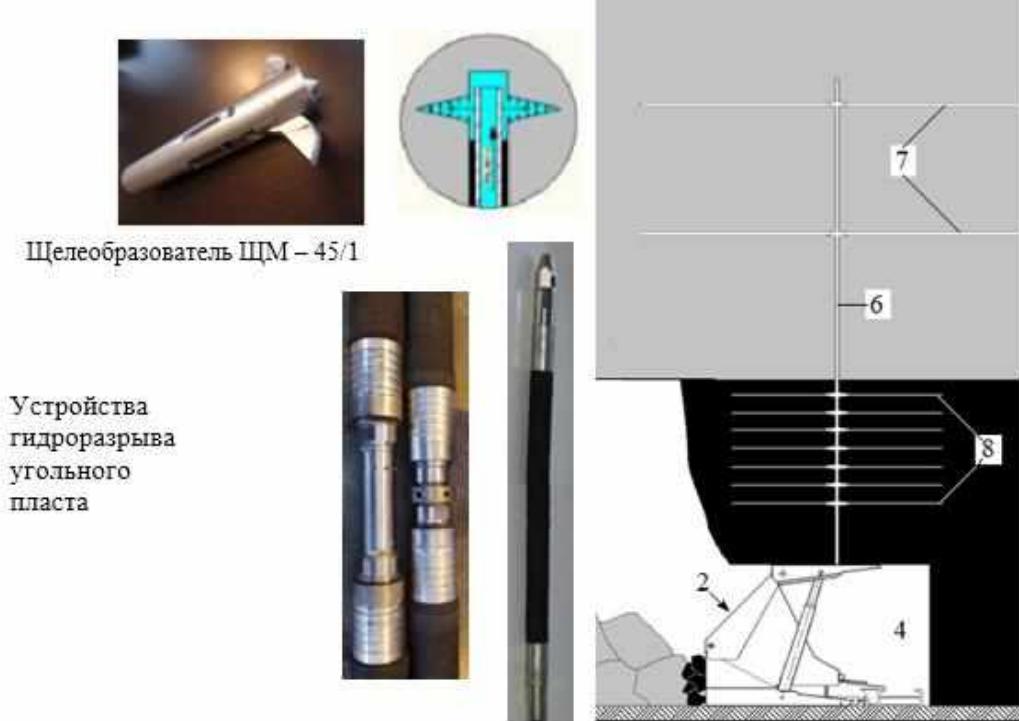
**2. Кизилов С.А., Никитенко М.С., Худоногов Д.Ю., Неоги Б., Верховцев Д.О.** Пример реализации управления технологическим оборудованием из устройств формирования виртуального трехмерного пространства. // Горная промышленность. – 2023. – № 5. – С. 124–129. DOI: 10.30686/1609-9192-2023-5-124-129.

***Технология и оборудование повышения эффективности дегазации выбросоопасных угольных пластов для обеспечения безопасной добычи угля в сложных горно-геологических условиях***

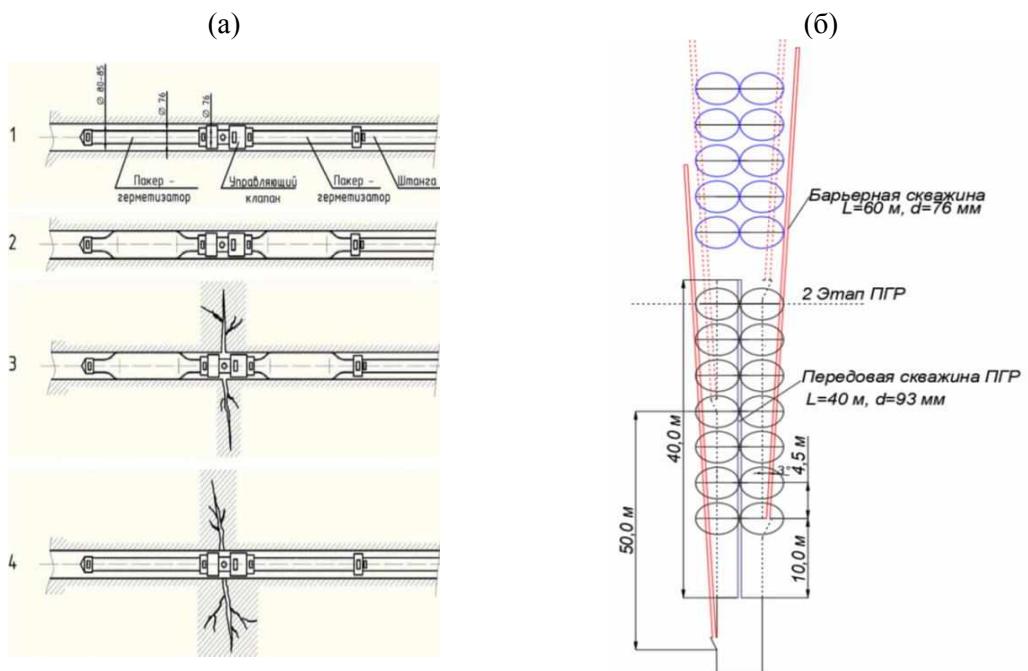
Разработан метод направленного гидроразрыва для управления труднообрушающейся кровлей в угольных шахтах, который позволяет исключитьплощадное зависание пород и резкие динамические воздействия её на механизированные комплексы в период первичной и последующих осадок, при работе лавы на убывающий целик, в зонах тектонических нарушений, а также обеспечить сохранность повторно используемых горных выработок в зоне очистных работ (рисунок 7).

Разработанный метод ориентированного поинтервального гидроразрыва применяют для снижения сроков и повышения степени предварительной дегазации угольных пластов в шахтных условиях (рисунок 8). Его сущность состоит в формировании в угольном пласте системы трещин гидроразрыва заданной конфигурации, предназначенных для частичной разгрузки массива горных пород, создания в нем фильтрационных каналов для дренирования (осушения) пород и их дегазации. Трещины, образовавшиеся в процессе ориентированного поинтервального гидроразрыва пласта, могут достигать в длину нескольких десятков метров и, соединяясь между собой, значительно увеличивают проницаемость дегазационной скважины. Этот метод является на сегодняшний день самым эффективным способом повышения дебита скважины.

Изготовлены комплекты специального оборудования реализации направленного гидроразрыва кровли и поинтервального гидроразрыва угольного пласта (рисунок 8).



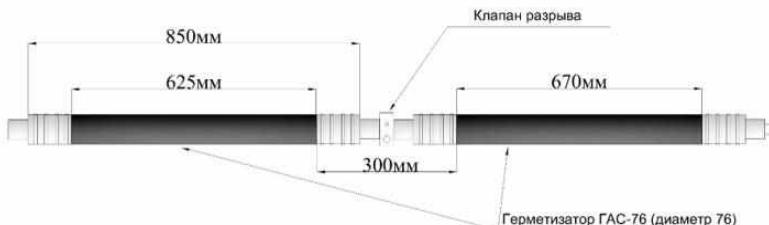
**Рисунок 7 – Способ разработки мощного пласта с крепким углем и труднообрушаемыми породами кровли**



**Рисунок 8 – Технологическая схема реализации поинтервального гидроразрыва угольного пласта (а): ввод пакера в скважину (1); герметизация скважины (2); гидроразрыв угольного массива (3); разгерметизация скважины и перемещение пакера (4): технологическая схема реализации метода ПГР в подготовительном забое через барьерные скважины на передовую скважину (б)**

При осуществлении поинтервального гидроразрыва в угольном пласте при бурении возникает изменчивость сечения дегазационных скважин и отклонения их сечения от круговой формы, что должно компенсироваться упруго расширяющимися рукавами. Для оценки возможности упругих рукавов перекрывать размеры изменяющейся в диаметре скважины выполнены исследования возможности изменения размеров пакерных устройств вне трубы (рисунок 9). Установлено, что размеры упруго расширяющихся пакеров увеличиваются до 60% и могут обеспечить герметизацию скважины в широком диапазоне.

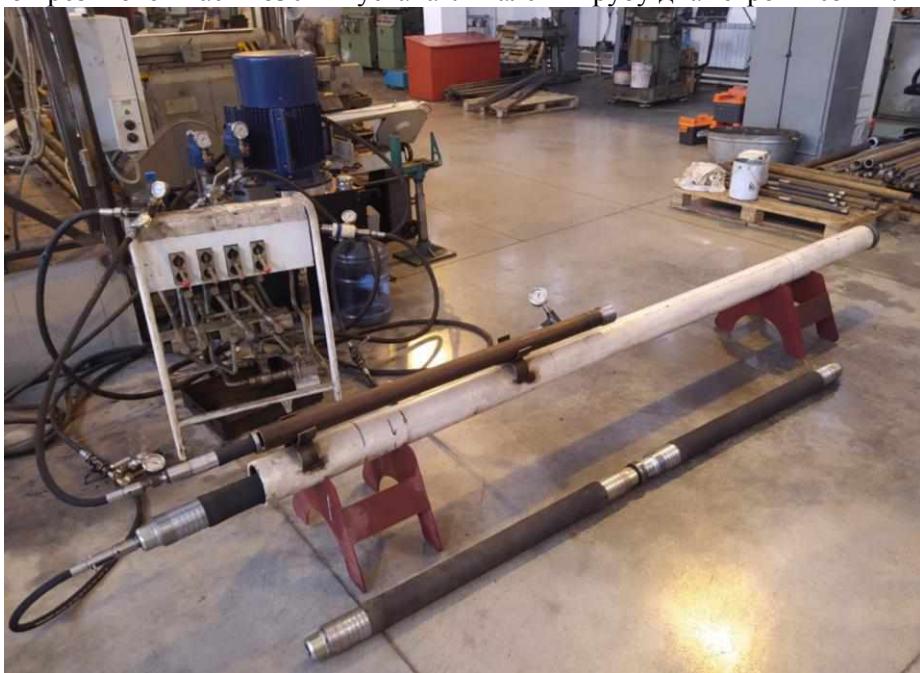
#### Разрывное устройство



№п/п	№ пакера	Длина резиновой заделки L, мм.	Диаметр пакера	Давление, Бар	Фото
Исход №1	1 пакер	625	78	0	
	2 пакер	670	78	0	
Исход №2	1 пакер	520	106	6-10	
	2 пакер	590	100	6-10	
Исход №3	1 пакер	450	122	30-50	
	2 пакер	490	120	30-50	

**Рисунок 9 – Испытания разрывного устройства вне трубы**

Для измерения осевого перемещения герметизаторов (пакеров) от давления были выполнены дополнительные лабораторные исследования (рисунок 10) не только в трубе диаметром 80 мм, но и диаметром 105 мм. Пакер диаметром 76 мм, длиной с заделками 1113 мм и длиной резиновой части 830 мм устанавливался в трубу диаметром 105 мм.



**Рисунок 10 – Внешний вид стенда для испытания устройства работы клапана для разрыва горного массива**

Раскрытие пакера произошло при давлении от 0,1 до 0,5 МПа без надежного крепления в трубе (скважине). При этом край пакера переместился на 80 мм (рисунок 11а). Дальнейшее увеличение давления от 0,5 до 2,0 МПа приводит к надежному закреплению пакера в трубе (скважине). При этом край пакера перемещается на 15 мм (рисунок 11б). Дальнейшее увеличение давления до 5,0 МПа не привело к перемещению торца пакера (рисунок 11в). При этом происходит их укорачивание в осевом направлении. Поскольку два герметизатора жестко связаны между собой через корпус клапана, в месте их крепления к втулкам возникают значительные растягивающие силы, стремящиеся разорвать это соединение, что снижает надежность работы устройства.

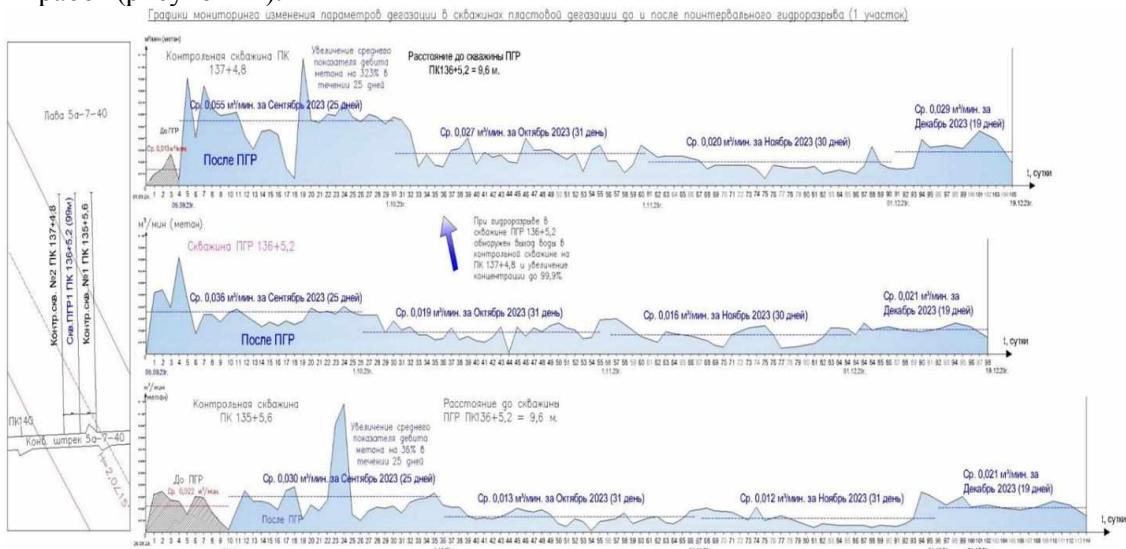


**Рисунок 11 – Стендовые испытания пакера в трубе диаметром 105 мм**

Данные и результаты испытаний технологии поинтервального и направленного гидроразрывов на экспериментальном стенде для исследования процессов гидродинамического воздействия на угольные пласты показали возможность применения разработанной технологии в условиях действующих шахт.

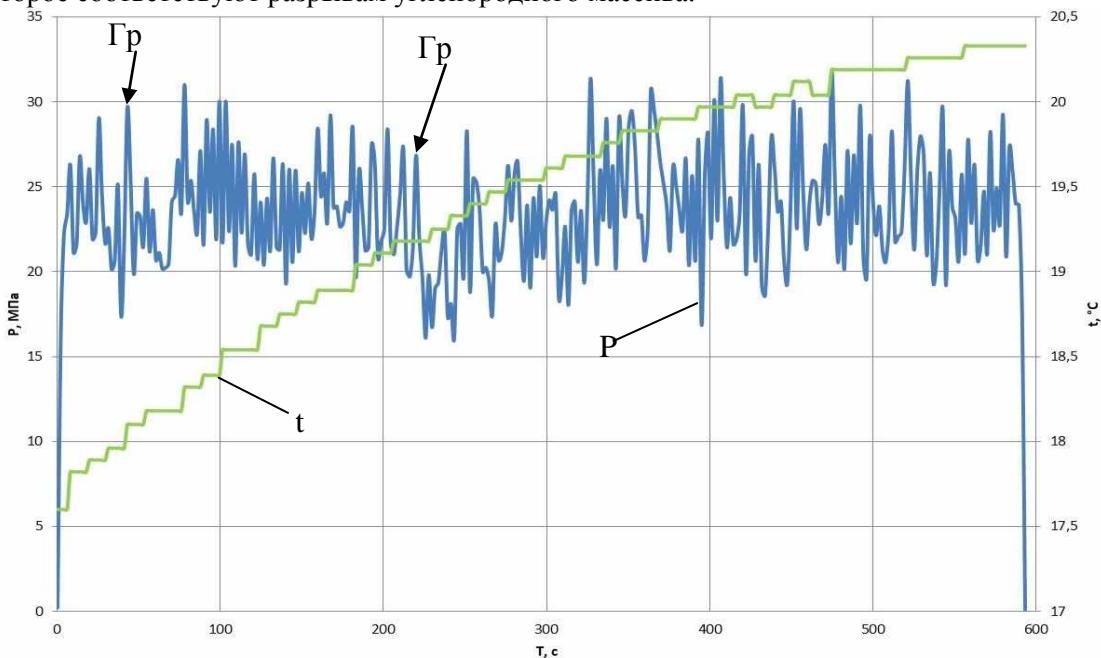
Проведены шахтные испытания способа и устройств поинтервального гидроразрыва угольного пласта для интенсификации процесса дегазации. Показательные пробные шахтные испытания были проведены в условиях шахты ПАО «Распадская» из конвейерного штрека на пласт 7-7а мощностью 3,60-4,24 м, где природная газоносность составляла

22,0-22,5 м<sup>3</sup>/т в восстающей скважине предварительной дегазации с разворотом от оси выработки на 90°. Для определения эффективной зоны гидровоздействия в 9,6 метрах по обе стороны пробурены контрольные скважины. Первые три гидроразрыва с регистрацией изменения диаметра скважины были проведены на устье выработки в 30 метрах. Установлено, что при реализации трех разрывов вблизи выработки (30 м) произошло увеличение выхода метана в среднем в 2,4 раза. Ежесуточный мониторинг изменения параметров дегазации в скважине гидроразрыва и соседних контрольных скважин проводился до и после реализации работ (рисунок 12).



**Рисунок 12 – Мониторинг параметров дегазации до и после поинтервального гидроразрыва**

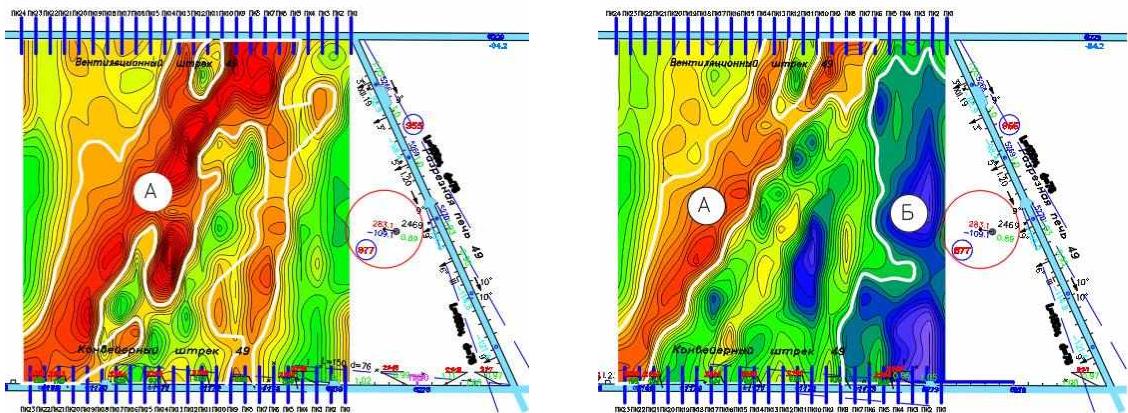
По результатам проведенных измерений установлено, что нагнетание рабочей жидкости в скважину для гидравлического воздействия осуществлялось в течение 9,9 минут при максимальном давлении 31,77 МПа, в результате чего зарегистрированы изменения давления во времени (рисунок 13). В процессе нагнетания рабочей жидкости на 43 и 220 секундах при давлении 29,65 МПа и 26,83 МПа были зарегистрированы падение давления (Гр), которое соответствуют разрывам углепородного массива.



**Рисунок 13 – Изменение давления Р и температуры t при проведении направленного гидродинамического воздействия на углепородный массив**

По результатам сейсмических измерений выполнен анализ параметров сигнала, распространяющегося по активной кровле, и получены горизонтальные геофизические разрезы области активной кровли до и после гидровоздействия (рисунок 14).

Отмеченные изменения регистрируемых скоростей распространения сейсмических волн свидетельствуют об общей разгрузке активной кровли опытного участка, вероятно, произошедшей в результате комплекса факторов, основным из которых является направленное гидровоздействие.



**Рисунок 14 – Результаты сейсмического просвечивания кровли опытного участка выемочного столба до и после гидравлического воздействия**

Разработанная «Технология повышения эффективности дегазации выбросоопасных угольных пластов», включающая способы направленного гидроразрыва кровли и поинтервального гидроразрыва угольного пласта и оборудование для осуществления способов, а также средства мониторинга результатов проведенных мероприятий позволили специалистам АО «УК «Северный Кузбасс» повысить качество решения вопросов управления кровлей, дегазации угольного пласта, снижения выбросоопасности угольных пластов, что позволило обеспечить безопасность добычи угля.

**1. Клишин В.И., Опрук Г.Ю., Гоголин В.А., Связев С.И.** Сохранение целика и подготовительного штрека за счет разупрочнения кровли вышележащей лавы направленным гидроразрывом. // Уголь. – 2023. – № 4. – С. 23-30. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-4-23-30.

**2. Клишин В.И., Опрук Г.Ю, Гречишким П.В., Связев С.И.** Оценка и мониторинг способа оперативного многоступенчатого разупрочнения труднообрушаемой кровли методом направленного гидроразрыва. // Горная промышленность. – 2023. – № S2. – С. 101–107. DOI: 10.30686/1609-9192-2023-S2-101-107.

***Метод определения проницаемости горных пород на основе высокоточного контроля изменений давления нагнетания флюида в гидроиспытаниях технологических скважин в шахтных условиях***

Разработана численная модель стационарного процесса фильтрации флюида в свежеобнаженную поверхность угольного пласта в среде *COMSOL Multiphysics* на основе закона Дарси.

В численных экспериментах показано увеличение давления по направлению вглубь массива с радиусом влияния скважины на фильтрационные свойства угольного пласта 3,4 м при времени фильтрации флюида 43 часа.

Результаты численного эксперимента согласуются с результатами гидродинамических испытаний, выполненных в двух скважинах в условиях Ленинского геолого-экономического района Кузбасса, в которых установлено, что при времени фильтрации 24-44 часа проницаемость угольного пласта составляет 55-64 мД (рисунок 15).

**1. Тайлаков О.В., Макеев М.П., Уткаев Е.А., Марцияш Д.А.** Изучение фильтрационных свойств угольного пласта на основе гидродинамических исследований и численного моделирования. // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. – 2023. – № 4. – С. 44-50. DOI: 10.25558/VOSTNII.2023.99.21.005

### Размещение оборудования в скважине

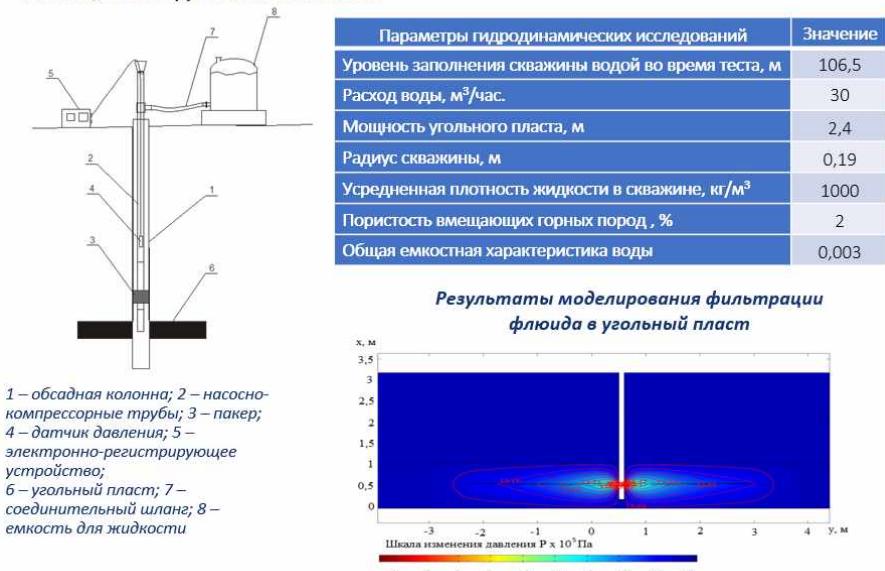


Рисунок 15 – Определение проницаемости горных пород на основе высокоточного контроля изменений давления нагнетания флюида

### Методика лабораторных исследований свойств углей без их контакта с воздухом

Впервые разработана методика лабораторных исследований свойств углей без их контакта с воздухом. Методика основана на разработанном алгоритме контролируемых ступенчатых выпусков газа из проб природного угля, уникальность которого заключается в возможности широкомасштабных исследований кинетических, энергетических и сорбционных свойств угля, и на системе критериев: градиенты скорости десорбции газа из пробы за время ( $t$ ), равное 5 и 60 минут (а и б), количество газа, поглощенного пробой за 2 минуты и 45 часов ( $S_2$  и  $S_{45}$ ), объем выделившегося газа из пробы за 60 минут ( $S_d$ ) в зависимости от разности давления газа ( $\Delta P$ ) и энергия (E), затраченная на сжатие единицы объема десорбированного газа при газоистощении пробы в замкнутой системе «уголь-газ» (рисунок 16).

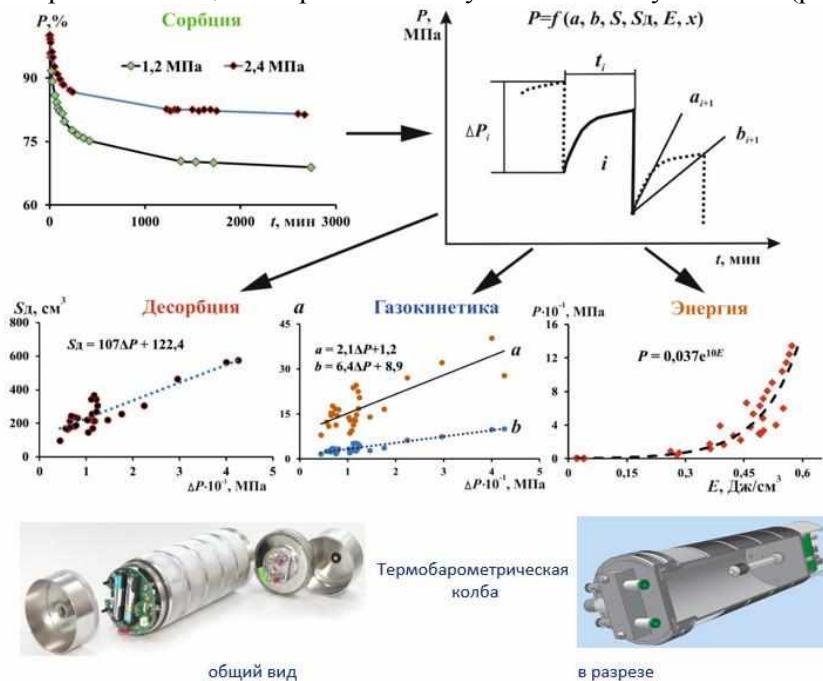


Рисунок 16 – Определение сорбционных, кинетических и энергетических свойств углей без их контакта с воздухом на примере пробы пласта 23 Никитинского месторождения

**1. Kozyreva E.N., Plaksin M.S., Shinkevich M.V., Rodin R.I., Ryabtsev A.A.** Comprehensive method to improve gas emission management during mining operations // Russian Mining Industry. – 2023. – № S2. – С. 18-25. DOI:10.30686/1609-9192-2023-S2-18-25.

### **Технология инъекционной изоляции горных выработок шахт для предотвращения эндогенного самовозгорания угля и формирования безопасного подземного пространства**

Исследованы процессы фильтрации технологических водо-твердых минеральных суспензий при инъекционном тампонаже нарушенных горных пород.

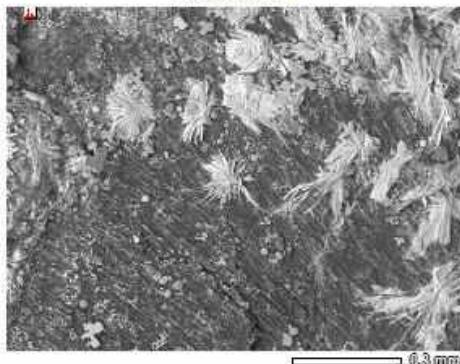
Выявлены эффективные составы суспензий и особенности инъекционной цементации горизонтальных трещин при изоляции и упрочнении угольного пласта. Выявлены стадии формирования плоскопараллельного двухфазного потока.

Показано влияние обработки угля суспензией активного доменного шлака на изменение физико-химических свойств поверхности.

Обоснованы особенности повышения устойчивости контура горных выработок в сложных условиях, локализации зон самонагревания угольного пласта с блокированием миграции жидкостей и газов по трещинам, консервации и изоляции подготовленных к обработке запасов (рисунок 17).



Пассивация поверхности угля марки Д при пропитке фильтратом минеральной суспензии



Физическое моделирование плоского потока минеральной суспензии в угле  
I стадия



Численное моделирование процессов фильтрации минеральной суспензии в пористой среде угля

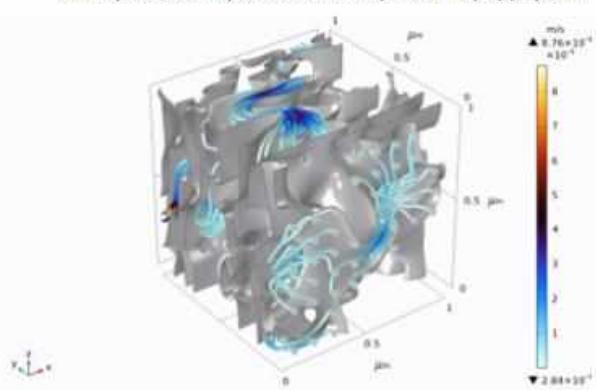


Рисунок 17 – Технология инъекционной изоляции горных выработок шахт

**1. Patrakov Y.F., Maiorov A.E., Semenova S.A., Kulik D.P.** The effect of coal treatment with blast furnace slag suspension on the change of physical and chemical properties of the surface. // Solid Fuel Chemistry. – 2023. – Vol. 57, – №. 6. – P. 394-401. DOI: 10.3103/S0361521923060058.

2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023622386 РФ. Технологические суспензии для тампонажа горных выработок. № 2023622012: заявл. 30.06.2023: опубл. 13.07.2023. / А.Е. Майоров, И.Л. Абрамов; патентообладатель ФИЦ УУХ СО РАН.

## Анализ состояния минерально-сырьевой базы разведанных запасов Кузнецкого угольного бассейна

Существующие представления об обеспеченности угольной промышленности Кузбасса балансовыми запасами (на 100 и более лет) не соответствуют реальности. Так, доля запасов, пригодных для добычи угля открытым способом, на который ныне приходится более 70% добычи, составляет около 24%, а по коксующимся и особо ценным маркам угля значительно ниже: 10 и 3% соответственно. При этом значительная часть балансовых запасов угля поставлена на баланс по кондициям 1930-1997 гг. и не соответствует требованиям используемых технологий отработки запасов подземным способом. Об этом свидетельствует неуклонное снижение (3,3% в год) востребованности промышленностью числящихся на Государственном балансе запасов: за 2004-2023 гг. в недропользование было передано 20,91 млрд. т запасов и прогнозных ресурсов, из которых только 10,72 млрд. т (менее 50%) числились на Государственном балансе.

Несбалансированность марочной структуры балансовых запасов коксующихся марок углей (недостаток марок К, КЖ, КО, ОС и КС) в 2 раза снижает запасы, обеспечивающие формирование «оптимальной» угольной шихты. В перспективе удовлетворить потребности коксохимической промышленности по отдельным маркам (КО, КС, ОС и КС), разведанные запасы которых имеются только в Кузбассе, возможно только за счет добычи угля подземным способом в сложных горно-геологических условиях, однако эффективные технологии для отработки таких запасов в настоящее время отсутствуют (рисунок 18).

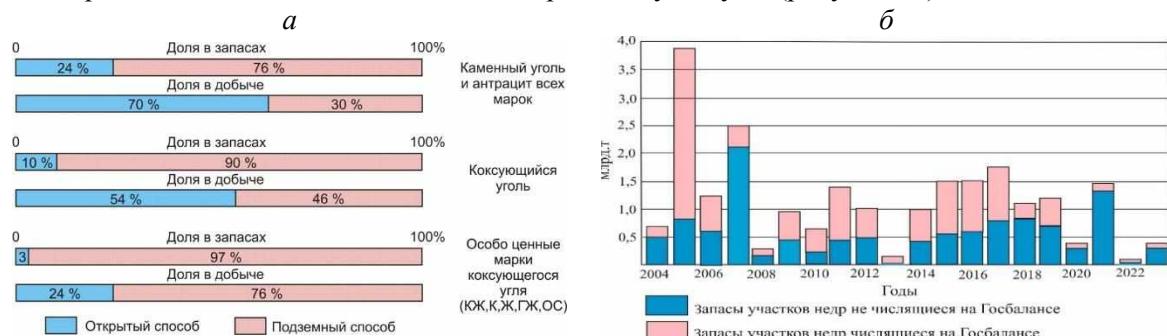


Рисунок 18 – Долевое участие углей в запасах и в добыче для открытого и подземного способов добычи (а) и запасы участков недр, переданные в недропользование в 2004–2023 году (б)

**1. Шакlein С.В., Писаренко М.В.** Оценка балансовых запасов сырьевой базы коксующихся углей // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2023. – № 2. – С. 60-67. DOI 10.20403/2078-0575-2023-2-60-67.

**2. Клишин В.И., Рогова Т.Б., Шакlein С.В., Писаренко М.В.** Стратегические задачи технологического развития угольной отрасли // Уголь. – 2023. – № 3. – С. 52-59. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-3-52-59.

### *Имитационные модели взаимодействия во времени и пространстве горных машин и оборудования автоматизированных и роботизированных горнодобывающих и горнопроходческих комплексов*

Разработаны имитационные модели в отечественной программной среде GPSS Studio, отображающие взаимодействие во времени и пространстве горных машин и оборудования автоматизированных и роботизированных горнодобывающих и горнопроходческих комплексов и технологий разработки угольных месторождений без постоянного присутствия людей в зонах ведения подземных и открытых горных работ, позволяющие учитывать вероятностную природу выполнения технологических процессов, исследовать влияние соотношения долей дистанционного и автоматического управления, количества операторов и управляемых ими горных машин на производительность забоев, степень использования операторов и простои машин при человеко-машинном управлении, а также устанавливать эффективное сочетание количества операторов и управляемых ими горных машин, автоматизированных и роботизированных на разных уровнях (рисунок 19).

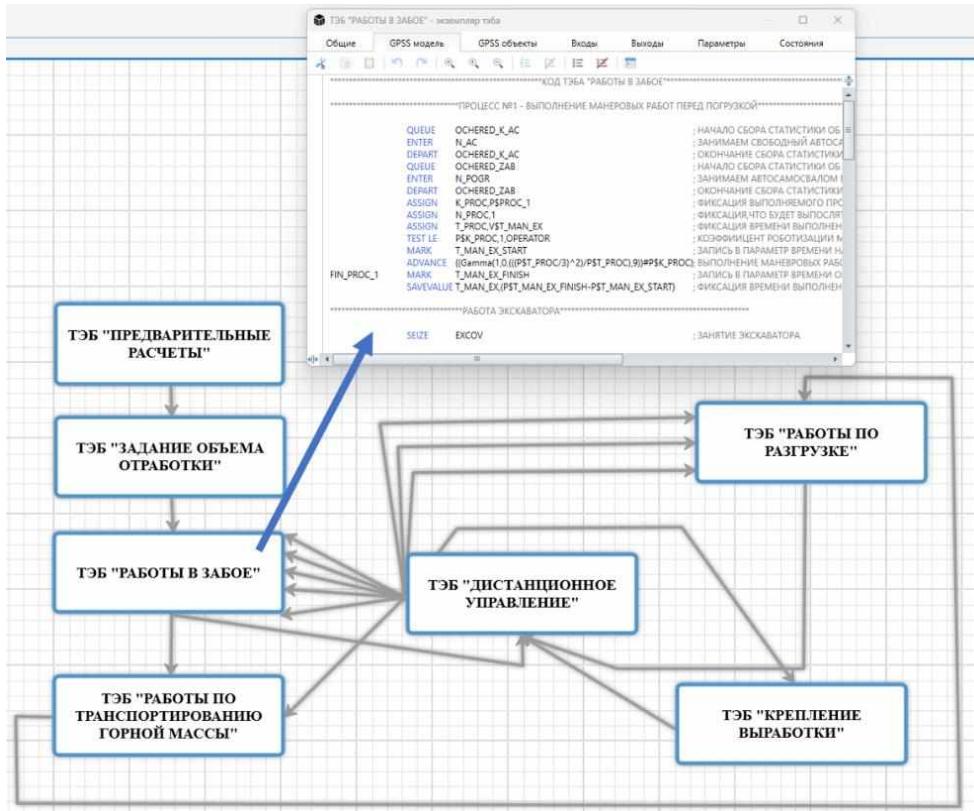


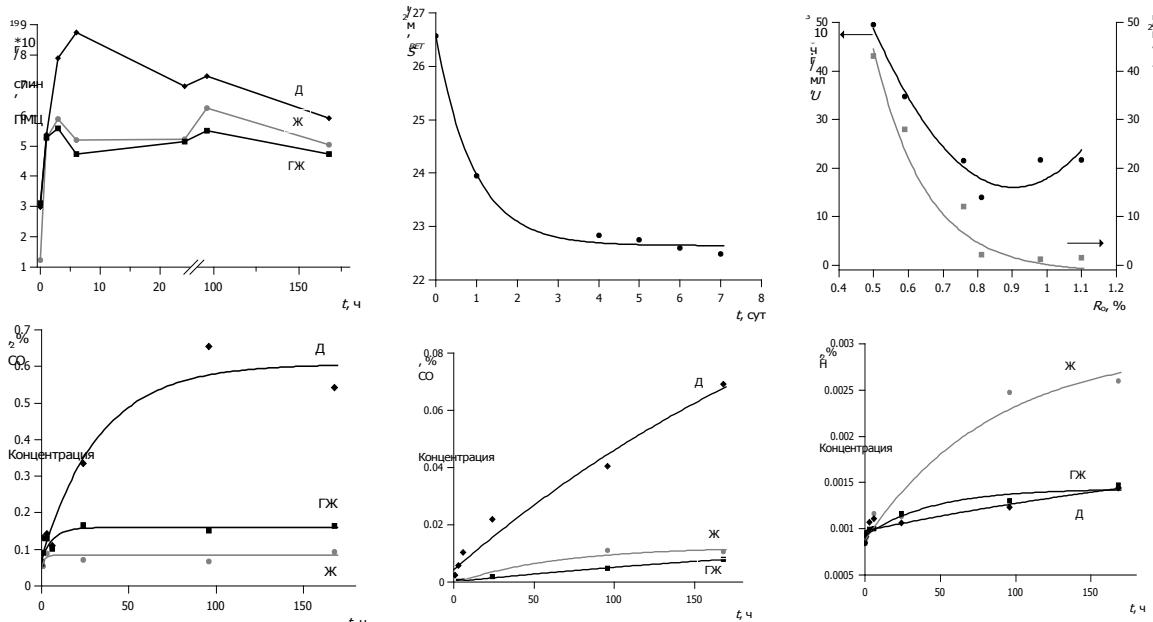
Рисунок 19 – Модель горных работ в виде соединенных ТЭБ в среде GPSS Studio

1. Зиновьев В.В., Кузнецов И.С., Николаев П.И., Стародубов А.Н. Имитационное моделирование роботизируемых технологий открытых и подземных горных работ // Горная промышленность. – 2023. – № S2. – С. 65–76. DOI: 10.30686/1609-9192-2023-S2-65-76.

**Сведения об изменении в составе исследуемых нативных углей и их реакционной способности к окислению при первичном контакте угольной поверхности с воздушной средой**

Исследованы особенности изменения химического состава нативных углей низкой и средней стадии метаморфизма в начальный момент их взаимодействия с воздушной средой с привлечением методом ЭПР-, ИК- и ЯМР-спектроскопии и ГХ-анализа. Динамика изменения количества парамагнитных центров и функциональных О-групп показывает, что наиболее значимые изменения в поверхностном слое углей происходят в течение первых 4-х ч их нахождения в воздушной атмосфере (рисунок 20, а). Установлено, что наиболее активными к взаимодействию с кислородом воздуха являются  $\cdot\text{CH}$ -алкильные радикалы и  $\text{CO}^{\cdot}$ -радикалы фенольных и алкилэфирных групп. Спустя 4 сут. процесс стабилизируется вследствие блокировки реакционных центров продуктами хемосорбции (кислородсодержащими группами), что способствует снижению удельной поверхности угля (рисунок 20, б).

Предложена оригинальная методика оценки химической активности углей, характеризующей скорость поглощения кислорода при 25°C. Принципиальным отличием метода является проведение пробоподготовки углей в инертной среде, что исключает первичный контакт угольной поверхности с кислородсодержащей средой. Проведена оценка сорбционной активности образцов углей низкой и средней стадий метаморфизма, наиболее предрасположенных к самовозгоранию в пластах и при хранении (рисунок 20, в). Наибольшей склонностью к окислению отличаются наименее метаморфизованные угли марки Д с высоким содержанием реакционноспособных функциональных групп и развитой пористостью. Продукты окисления низкометаморфизованного угля представлены преимущественно оксидами углерода (рисунок 20, г, д). С ростом метаморфизованности углей в составе газовой фазы возрастает содержание водорода (рисунок 20, е), что согласуется с представлениями об их химической структуре.



**Рисунок 20 – Изменение общего количества ПМЦ (а); удельной поверхности  $S_{BET}$  для угля марки Д (б); зависимость константы скорости сорбции  $U_{25}$  и  $S_{BET}$  от стадии метаморфизма углей (в); концентрация в реакционном газе  $\text{CO}_2$  (г),  $\text{CO}$  (д) и  $\text{H}_2$  (е) при низкотемпературном окислении нативных углей низкой и средней стадии метаморфизма в воздушной среде**

**1. Семенова С.А., Патраков Ю.Ф., Лырщикова С.Ю., Захаров Н.С.** Начальные стадии взаимодействия углей низкой и средней стадии метаморфизма с воздушной средой. // Кокс и химия. – 2023. – №4. – С. 2-11.

**2. Semenova S.A., Patrakov Yu.F., Lyrshchikov S.Yu., Zakharov N.S.** Interaction of Freshly Exposed Low and Medium-Grade Coal with the Air. // Coke and Chemistry. – 2023. – Vol. 66, – № 4, – P. 187–195. DOI: 10.3103/S1068364X23700709.

## 2.6. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «ЯКУТСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК» ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА СЕВЕРА ИМ. Н.В. ЧЕРСКОГО СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

### Геомеханика

- Методом конечных элементов реализовано совместное решение задачи фильтрации и теории упругости для цилиндрической горной выработки. Рассчитаны нестационарные поля влагонасыщенности горных пород вокруг горной выработки и соответствующие им поля напряжений. Установлена динамика изменения коэффициента концентрации сжимающих напряжений от степени водонасыщения горных пород вокруг выработки. Построена двухмерная математическая модель фильтрации воды в протяженную цилиндрическую горную выработку, находящуюся в условиях гидростатического сжатия, при наличии вышерасположенного водоносного горизонта. Смоделирована ситуация прорыва участка водоносного горизонта. Методом конечных элементов проведены расчеты полей влагонасыщенности породного массива вокруг горной выработки в процессе фильтрации. Изменение влажности горной породы влечёт за собой изменение её деформационных свойств. При допущении обратной линейной зависимости модуля упругости от влажности горной породы рассчитаны поля напряжений и определены коэффициенты концентрации сжимающих напряжений на контуре выработки. На рисунке 1 представлена динамика изменения коэффициента концентрации напряжений в процессе фильтрации влаги.



Рисунок 1 – Динамика изменения коэффициента концентрации сжимающих напряжений на контуре выработки

На основании выполненных расчетов установлено:

- точки максимума сжимающих напряжений на контуре выработки смещаются от кровли выработки к подошве по мере изменения влагонасыщенности породного массива вокруг выработки;
- уменьшение модуля упругости горных пород с увеличением водонасыщенности ведет к увеличению коэффициента концентрации сжимающих напряжений по мере насыщения пород вблизи горной выработки водой (при падении модуля упругости на 20% рост коэффициента концентрации напряжений составляет около 27%).

### Горная теплофизика

- Экспериментальными исследованиями установлена удельная энергоемкость разрушения доломита трубы «Интернациональная» ( $W_p=825 \text{ Дж}/\text{м}^2$ ) и известняка карьера «Мохсоголлох» ( $W_p=3503 \text{ Дж}/\text{м}^2$ ). Погрешность определения удельных энергозатрат, при нормальных условиях и надежности 0,95 составила менее 4%. Установлено, что энергоемкость разрушения доломита в отличие от известняка, находится в прямой зависимости от температурного градиента и условий замораживания. Максимальное снижение удельных энергозатрат на 27% наблюдается после 10 циклов замораживания-оттаивания у образцов доломита, насыщенных в водной среде при температурном градиенте  $-30\dots+20^\circ\text{C}$ . Энергоемкость разрушения известняка к. «Мохсоголлох» под влиянием 3-5 циклов в водной среде снижается на 8-11%. Воздушно-сухие образцы показали снижение энергозатрат на 1-8%, в зависимости от количества циклов и температурного градиента.

Проведя сравнение энергоемкости разрушения обоих типов исследуемых пород, можно утверждать, что под влиянием циклов замораживания-оттаивания в различных температурных диапазонах, наблюдается единая тенденция в изменении удельных энергозатрат в зависимости от условий насыщения пород (воздушно-сухие и водонасыщенные), а также присутствует зависимость энергоемкости разрушения горных пород от их пористости. В более пористом доломите трубы «Интернациональная» (рисунок 2) под действием циклов удельные энергозатраты снижаются в 2-2,5 раза интенсивнее, чем у известняка «Мохсоголлохского» месторождения (рисунок 3).

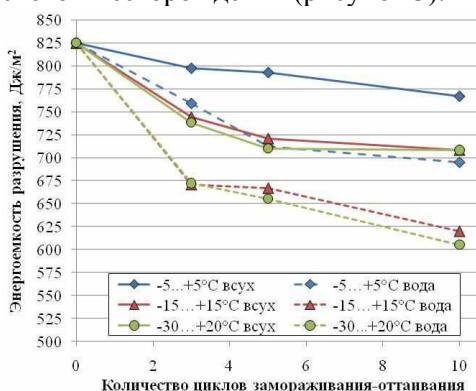


Рисунок 2 - Зависимость энергоемкости разрушения доломита трубы «Интернациональная» (пористость 17,4%) от циклов замораживания-оттаивания

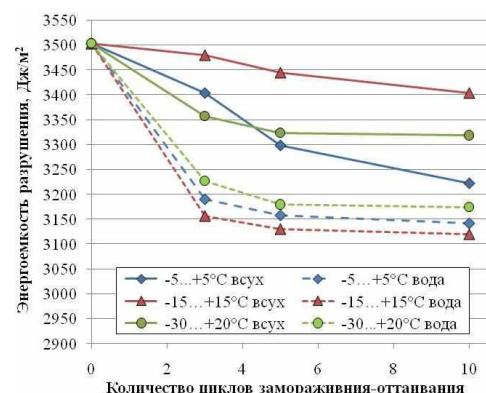
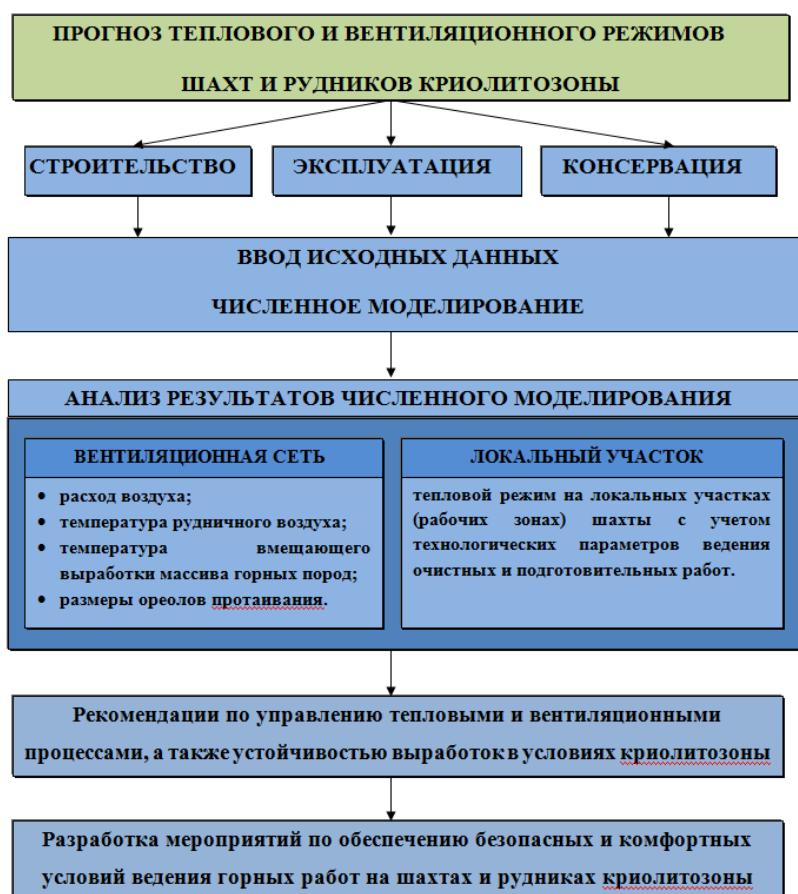


Рисунок 3 - Зависимость энергоемкости разрушения известняка карьера «Мохсоголлох» (пористость 0,4%) от циклов замораживания-оттаивания

Практическая значимость результатов проведенных экспериментальных исследований по установлению влияния знакопеременного температурного воздействия с различными температурными градиентами на энергоемкость разрушения горных пород различной пористости состоит в том, что полученные результаты могут послужить основой для разработки эффективных и энергосберегающих технологий добычи и переработки полезных ископаемых.

- На основе программного комплекса расчета теплового и вентиляционного режимов шахт и рудников криолитозоны разработана методика, которая позволяет сделать долгосрочный прогноз на весь период разработки месторождения: строительство, эксплуатация и временная консервация. Прогноз осуществляется с учетом развития вентиляционной сети горных выработок, технологических особенностей ведения горных работ, а также способа временной консервации месторождения. Разработана математическая модель и получены закономерности формирования теплового режима в горных выработках и вмещающем их массиве горных пород при различных способах консервации месторождения полезных ископаемых криолитозоны на примере угольной шахты «Джебарики-Хая». Результаты расчётов являются основой для разработки рекомендаций по управлению тепловыми процессами и разработки соответствующих мероприятий по обеспечению безопасных и комфортных условий ведения горных работ на шахтах и рудниках криолитозоны.

Методика долгосрочного прогноза на весь период разработки месторождения (строительство, эксплуатация и временная консервация) состоит в следующем (рисунок 4). Сначала, исходя из поставленной задачи, выбирается этап, для которого будет производиться прогнозирование динамики тепловых условий в горных выработках шахты (рудника) и вмещающем их массиве горных пород. Далее в зависимости от выбранного этапа осуществляется ввод необходимых исходных данных для проведения численного моделирования теплового и вентиляционного режимов шахты (рудника).



**Рисунок 4 - Схема применения программного комплекса для комплексного расчета теплового и вентиляционного режимов шахт (рудников) криолитозоны на весь период разработки месторождения: строительство, эксплуатация и временная консервация**

Входными данными для программного комплекса являются: топологическая информация для построения вентиляционной сети; теплофизические свойства вмещающих пород; аэродинамические характеристики горных выработок и вентиляционных сооружений; геометрические размеры горных выработок; метеорологические параметры атмосферного воздуха; параметры технологических операций (тип применяемого самоходного горного оборудования, продолжительность его работы в забое, скорость подвигания забоя и др.). После ввода исходных данных производятся прогнозные расчеты (для заданного периода времени) теплового и вентиляционного режимов для всей сети горных выработок шахты (рудника), с учетом взаимовлияния теплообменных процессов в горных выработках, по которым проходит вентиляционный воздух. Результатами численного моделирования являются следующие параметры: расход воздуха, температуры воздуха и окружающих горных пород, размеры ореолов протаивания во всех выработках вентиляционной сети. Причем для локальных участков (рабочих зон) данные параметры рассчитываются с учетом технологических параметров ведения очистных и подготовительных работ. В программном комплексе полученные данные можно просматривать и анализировать в табличном виде, виде графиков или на схеме вентиляции в отдельном графическом модуле. Анализ результатов моделирования при вариации исходных данных позволяет разрабатывать рекомендации по управлению тепловыми и вентиляционными процессами в шахтах и рудниках криолитозоны. И как следствие разрабатывать рекомендации по обеспечению безопасных и комфортных условий ведения горных работ при подземной добыче полезных ископаемых в специфических условиях Севера.

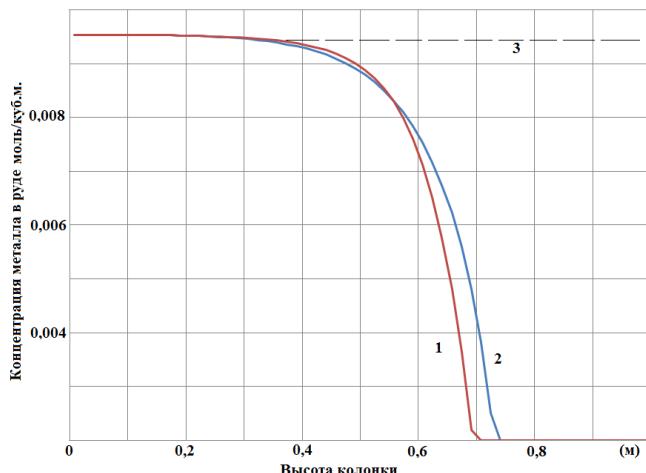
На примере угольной шахты «Джебарики-Хая», которая находится в юго-восточной части Нижне-Алданского угленосного района Республики Саха (Якутия), приведены результаты численных расчетов температурного режима на период консервации. Рассмотрены два варианта консервации шахты: I) мокрый; II) комбинированный (сухой и мокрый).

Как показали прогнозные расчеты, после консервации шахты и соответственно остановки деятельности вентиляции (мокрая консервация), отрицательная температура горных пород вокруг всех выработок установится в октябре - январе. Естественные температуры многолетнемерзлого массива горных пород (в пределах  $-4\ldots-5^{\circ}\text{C}$ ) устанавливаются в течение года. Соответственно сохранение мерзлого состояния массива горных пород вмещающего выработки на период консервации шахты создаст благоприятные условия для обеспечения устойчивости горных выработок и сохранности крепи. Осуществление предварительной проморозки (сухая консервация) горных выработок перед мокрой консервацией шахты позволит интенсифицировать процесс понижения температуры горных пород.

Также наличие постоянных (на период консервации) отрицательных температур породного массива и шахтного воздуха будет препятствовать самовозгоранию угля в подземных горных выработках.

- В рамках формальной кинетики рассмотрен процесс цианидного выщелачивания драгоценных металлов. Составлена математическая модель процесса выщелачивания, в которой комплексно учтены температурные зависимости параметров реакции, включая диффузионную доступность реагентов и растворимости атмосферного кислорода. Результатами моделирования установлено, что более низкая температура выщелачивания ( $t=2^{\circ}\text{C}$ ) обеспечивает достаточную концентрацию атмосферного кислорода в объеме колонки, что позволяет повысить извлечение металла при сокращении затрат на поддержание теплового режима с более высокой температурой. Высокая температура ( $t=20^{\circ}\text{C}$ ) снижает растворимость кислорода в теле колонки и несмотря на то что увеличивается коэффициент диффузии кислорода оценка результата по снижению остаточного содержания металла неудовлетворительна.

На рисунке 5 представлено расположение профилей концентрации металла в рудном материале после 150 часов выщелачивания. Цифра 1 относится к выщелачиванию при температуре  $2^{\circ}\text{C}$ , цифра 2 для процесса выщелачивания с температурой  $20^{\circ}\text{C}$ , цифрой 3 обозначена начальная концентрация металла. Результатами расчета установлено, что несмотря на разнородственный характер изменения концентрации и коэффициента диффузии от температуры (падение растворимости и рост диффузивности с ростом температуры) можно говорить о эффективности использования повышенной концентрации кислорода, что достигается при выщелачивании в области низких температур.



**Рисунок 5 – Распределение концентрации металла в колонке с рудным материалом после 150 часов выщелачивания при различных температурах**

Разработанная математическая модель позволяет получить оценку времени на восстановление рабочей температуры штабеля при аварийном простое или необходимые параметры теплоизоляции при продлении работ в условиях влияния отрицательных температур среды. Так как при этом допускается, что массив может иметь отрицательную температуру, то величины содержаний воды, льда и концентрации определяются на основе уравнения фазового равновесия по начальным значениям влагосодержания и концентраций, заданных для талого состояния. Изменение тепловых условий в теле штабеля может привести к искажению фильтрующихся потоков реагента, образованию мертвых зон. Представленная расчетная модель позволяет на основе данных регистрации температурного поля штабеля прогнозировать появление подобных ситуаций.

Любые изменения условий эксплуатации в экстремальных погодных условиях будут зависеть от строения и неоднородности рудного штабеля, а также состава и качества рудного материала. Результаты исследований позволяют в значительной степени сохранять технологическую устойчивость процесса кучного выщелачивания металла целенаправленно применяя управление температурным режимом штабеля, как организацией его теплозащиты, так и оптимальным регулированием температуры подаваемого раствора реагента. Представленная модель допускает усложнение и детализацию химического взаимодействия в рассматриваемых системах включая конкурентные механизмы расхода реагентов и учета тепловых эффектов при их взаимодействии.

### Горнопромышленная геофизика

- Разработана методика полевых геофизических измерений для изучения криогенного состояния массива горных пород (грунтов) месторождений криолитозоны, включающая обоснование вариантов состава комплекса методов малоглубинной электроразведки в зависимости от способа, режима, сезона измерений и условий залегания геокриологических объектов, позволяющего с достаточной степенью точности и достоверности получать информацию о наличии в массиве многолетнемерзлых горных пород пластов льда, высокольдистых пород, наледей, зон талых пород, имеющую важное значение для эффективного ведения открытых горных работ.

Таблица 1

### Параметры методики геофизических измерений

Решаемые задачи	Последовательность применения геофизических методов	Способы измерений	Режим изменений
1	2	3	4
Выявление пластового льда в мерзлой среде	ГРЛ, БИЭП (зимой)	Наземные	Непрерывный Дискретный
Выявление слоя сильнольдистых пород в мерзлых суглинках	ГРЛ, БИЭП (зимой)	Наземные	Непрерывный Дискретный
Оконтуривание наледи и поиск источника ее питания	ГРЛ, БИЭП (зимой)	Воздушные Наземные	Непрерывный Дискретный

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4
Оконтурирование зоны талых (влажных) пород	ГРЛ, БИЭП (зимой), ЭТ (летом)	Наземные	Непрерывный УГС
Мониторинг мощности СТС	ГРЛ, ЭТ (летом)	Наземные	Непрерывный Дискретный УГС
Исследование криогенного состояния грунтов оснований горнотехнических и инженерных сооружений	ГРЛ, БИЭП (зимой), ЭТ (летом)	Наземные Подповерхностные	Непрерывный Дискретный УГС

*Примечания:* ГРЛ - георадиолокация; БИЭП - бесконтактное измерение электрического поля; ЭТ - электротомография.

*Научная новизна.* Разработана методика полевых геофизических измерений, основанная на согласовании оптимальных параметров съемки комплекса методов: георадиолокации, электротомографии и БИЭП, в зависимости от решаемой задачи при геокриологических исследованиях на россыпных месторождениях криолитозоны.

*Практическая значимость.* Разработанная методика полевых геофизических измерений комплексом методов малоглубинной электроразведки обеспечивает достоверное изучение криогенного состояния массива горных пород (грунтов) месторождений криолитозоны.

### Экономика освоения георесурсов

- Месторождения арктических и субарктических районов Северо-Востока России необходимо дифференцировать по инвестиционной привлекательности (стратегически важные металлы, алмазы) и социально-экономической значимости (уголь, общераспространенные полезные ископаемые для местных нужд). Цели отработки социально-экономически значимых объектов в удаленных и труднодоступных районах – повышение энергобезопасности территорий и поддержка их развития, а не коммерческая выгода. Применение предложенных критериев и требований позволяет при освоении угольных месторождений организовать устойчивую работу малых добывающих предприятий и снизить количественные и качественные потери угольной продукции в цепочках её поставок.

Таблица 2

### Основные критерии и требования к освоению месторождений твёрдых полезных ископаемых, дифференцированных по социально-экономической значимости

Этап	Краткое описание решения	Критерий			
1	2	3			
Месторождение/участок	Расстояние до потребителей или транспортных коммуникаций, км	минимальное			
	Мощность вскрышных работ, м	0–20, к-т вскрыши ~ 1–1,5 (начальный этап)			
	Геометрия участка, запасы, тыс. т	Простая, от 500 тыс. т с простыми условиями			
	Глубина залегания пластов угля, м	минимальная			
	Доразведка и переоценка участка	Требуется с построение цифровых моделей запасов			
Горные работы	Объем добычи в год (госзаказчик)	~ 20-50 тыс. т/год, макс. до 100 тыс. т.			
	Срок отработки, лет	Не менее 7-10			
	Проектирование	Унифицированные типовые проекты и решения			
	Параметры системы разработки	Типовые схемы с учетом работы других разрезов			
	Добыча угля	Валовая, реже селективная			
	Рыхление пород, угля	Взрывное и механическое			

Продолжение таблицы 2

1	2	3
Оборудование	Гидравлические экскаваторы, погрузчики, бульдозеры, автосамосвалы	Дизельное, самоходное, с максимальной унификацией
	Электроснабжение	Автономные ДЭС
	ТО и ТР, средний ремонт	Собственные силы, плановая замена узлами
Организация работ	Интеграция участников цепочек поставок	Вертикальная и/или горизонтальная
	Основной персонал	Вахта, 15-50 чел.
	Использование местного населения	Частичное, исходя из имеющейся квалификации
	Системы налогообложения	Отмена основной части налогов
	Геолого-маркшейдерское обеспечение, БВР, финансовое управление и учет	Аутсорсинг или работа в составе вертикально-интегрированной компании
	Время работы	Теплое время года (2-3 квартал)
Качество угля	Уровень качества (K) в цепи «георесурс – потребитель»	K → opt, комплексные системы, низшая теплота сгорания, МДж/кг (Qir) → max, минеральные примеси (M) → min, мелких классов → Min
	Обогащение, облагораживание	Ручная породовыборка, сортировка по классам, тарирование в биг –бэги и мешки
	Опробование угля на разрезе	Механизированное
	Контроль качества угля	Выходной и входной текущий и по партиям

*Научная новизна и практическая значимость.* Предложенные критерии и требования способствуют повышению эффективности оценки проектов освоения месторождений, имеющих социально-экономическую значимость, и позволяют повысить точность и надежность выбора рационального варианта создания малых добывающих предприятий в удаленных и труднодоступных районах России.

Результаты могут быть использованы в дальнейших исследованиях, при разработке и корректировке планов развития арктических муниципальных образований региона, подготовке бизнес-планов реконструкции или создания малых добывающих предприятий.

### Физико-техническая геотехнология

- Экспериментальными исследованиями влияния влажности отбитой руды, склонной к смерзанию, на параметры фигуры ее выпуска из блока (критическая высота, размеры эллипсоида выпуска, воронки внедрения) в условиях отрицательной температуры очистного пространства установлено, что при выпуске руды (температура очистного пространства - 5°C) без увлажнения критическая высота выпуска составляла  $h_{kp}=0,95H_0$ , а при влажности 1% –  $h_{kp}=H_0$ . Максимальный горизонтальный диаметр эллипсоида выпуска в первом случае определялся как  $d_0=0,5H_0$ , а при увеличении влажности рудной массы до 1% –  $d_0=0,35H_0$ , при этом эллипсоид выпуска принял вытянутую форму с сужением в горизонтальной плоскости, что привело к снижению его максимального диаметра на 25%. Параметры воронки внедрения при этом различались несущественно (рисунок 6).

Установленные зависимости изменения параметров фигуры выпуска отбитой руды вследствие ее смерзания в зависимости от влажности в условиях отрицательной температуры очистного пространства получены впервые и будут учтены при разработке рекомендаций по обеспечению безопасного и эффективного выпуска руды при подземной разработке рудных месторождений криолитозоны.

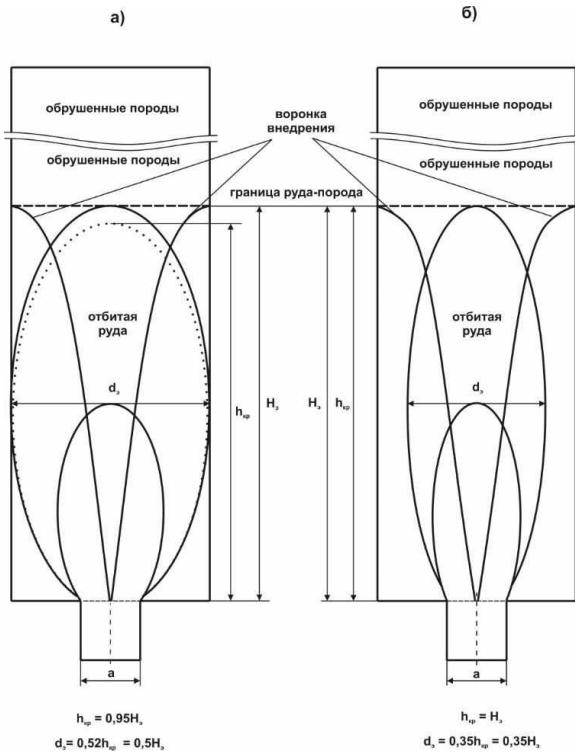


Рисунок 6 – Результаты определения параметров фигуры выпуска отбитой руды из блока на физической модели при температуре  $-5^{\circ}\text{C}$ :

а) при выпуске без увлажнения отбитой руды; б) при увлажнении рудной массы на 1%

• Экспериментальными исследованиями на образцах, структурно сопоставимых с взорванным массивом, установлены закономерности изменения прочности смерзания образцов горных пород в зависимости от процентного содержания включений и связующего. Показано, что в неуплотненных образцах с ростом процентного содержания включений до 50% происходит увеличение предела прочности в 3 раза, при дальнейшем увеличении содержания включений прочность на срез уменьшается. В уплотненных образцах прочность на срез снижается в 1,1-1,3 раза в зависимости от температуры, влажности пород и плотности упаковки (рисунок 7).

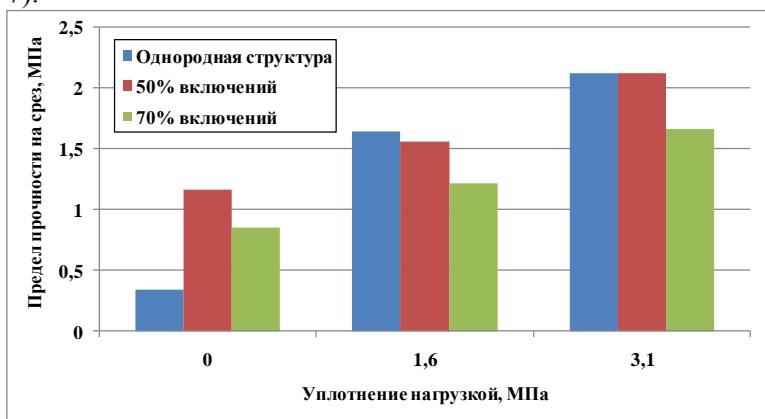


Рисунок 7 – Изменение предела прочности на срез в зависимости от процентного содержания включений, диаметра 40 мм, в образце при температуре  $-15$  град и влажности 15%

*Научная и практическая значимость.* Полученные результаты исследований способствуют раскрытию механизма повторного смерзания взорванного массива многолетнемерзлых пород и в дальнейшем послужат для обоснования эффективной технологии и параметров открытых горных работ, адаптированных к условиям месторождений криолитозоны, а также для корректного выбора типов и моделей выемочной техники в зависимости от прочностных характеристик разрабатываемых пород.

#### Обогащение полезных ископаемых

- Важнейшим фактором процесса эффективного извлечения золота из шлиховых продуктов обогащения с содержанием железного скрапа и минералов с высокой магнитной

восприимчивостью в отсадочной машине является постоянная разрыхленность формирующейся естественной постели, поддерживаемая полюсопеременным магнитным полем. Экспериментальными исследованиями установлено, что для материалов класса крупности  $-1+0$  мм при рациональных значениях следующих факторов: частоте отсадочного цикла  $210 \text{ мин}^{-1}$ , высоте постели  $80 \text{ мм}$ , амплитуде  $6 \text{ мм}$  требуется установка полюсопеременного магнитного поля с длительностью импульсов  $0,1 \text{ сек}$ , при этом необходимо исключить установку отсадочной решетки, которая приводит к уплотнению постели в донной части и препятствует прохождению частиц в камеру отсадочной машины.

Разработана физико-математическая модель на основании уравнения типа Фоккера – Планка по определению вероятности прохождения через толщу постели частиц при условии требуемого состояния разрыхлённости, результаты моделирования коррелируются с результатами экспериментов.

- Экспериментальными исследованиями установлена взаимосвязь степени дробления рудных образцов различной крепости по шкале Протодьяконова в аппаратах ударного действия ДАУ-250 и ДКД-300 со степенью дезинтеграции и удельным расходом энергии на дробление. Так, при дроблении в аппарате ДАУ-250 увеличение степени дробления от  $5,63$  до  $8,98$  для рудных образцов с коэффициентом крепости от  $16$  до  $7$ , сопровождается ростом степени дезинтеграции от  $0,23$  до  $0,48$ , а удельный расход энергии снижается с  $1,334$  до  $0,851 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{т}$ . Аналогичные показатели при дроблении данных руд в аппарате ДКД-300, показали изменение степени дробления от  $8,78$  до  $11,93$ , при увеличении степени дезинтеграции с  $0,32$  до  $0,63$  и снижении удельного расхода энергии от  $1$  до  $0,763 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{т}$  (рисунок 8). Полученный результат имеет важное значение при обосновании выбора дробильного оборудования для эффективной дезинтеграции рудных материалов с определенными физико-механическими свойствами.

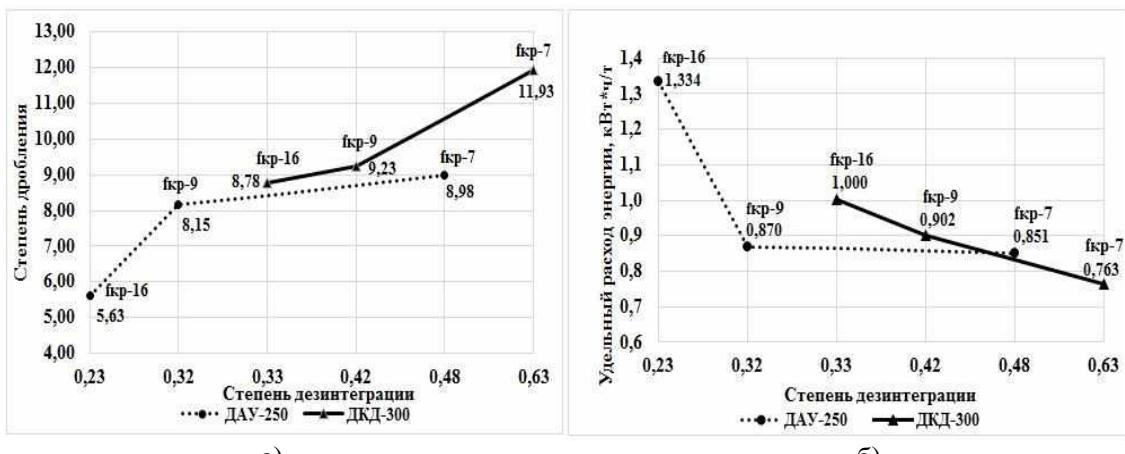
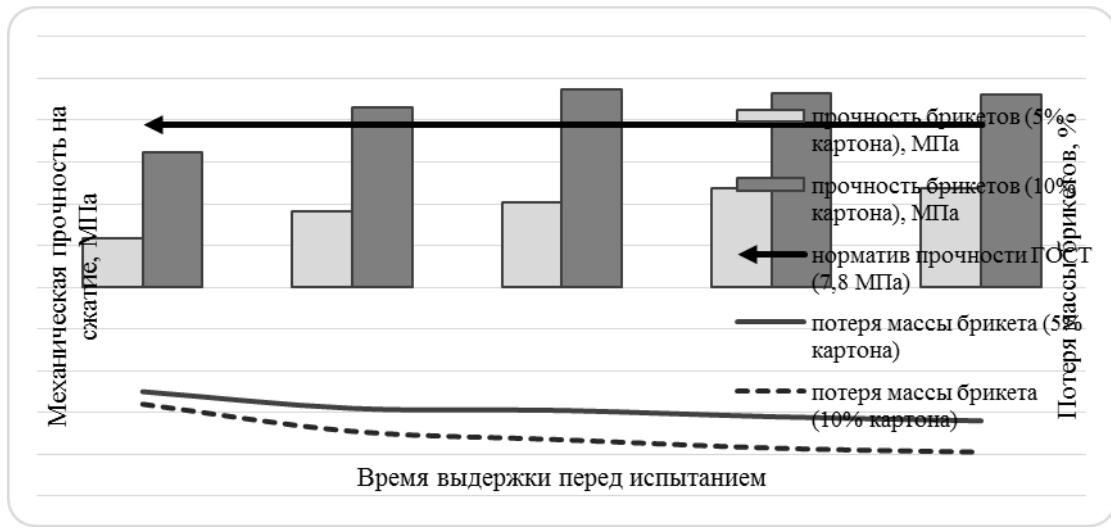


Рисунок 8 – Динамика изменения степени дезинтеграции при дроблении руды в аппаратах ДАУ-250 и ДКД-300 в зависимости от крепости руды, степени дробления (а) и удельного расхода энергии (б): fkp (7-16) – коэффициенты крепости по шкале Протодьяконова

#### Физико-химическая геотехнология

- В результате экспериментальных исследований процесса брикетирования углей Южно-Якутского бассейна разработан способ брикетирования каменных углей, заключающийся в смешивании сырья с картоном, предварительно измельченным и размоченным в воде, брикетировании полученной смеси без нагрева при удельном давлении  $78 \text{ МПа}$  и последующей выдержке брикетов в течение 3-5 суток в условиях комнатной температуры для потери избыточной влажности и набора максимальной механической прочности брикета на сжатие, которая для брикетов с содержанием картона в количестве  $10\%$  на сухую массу угля достигает  $9,5 \text{ МПа}$ , что превышает требования ГОСТ (рисунок 9). Новый способ брикетирования углей позволит снизить потери и вернуть в промышленное производство мелкие классы ценных марок каменных углей Южно-Якутского угольного бассейна.



**Рисунок 9 - Качественные характеристики брикетов из каменного угля со связующим на основе картона**

## **Информация о научно-организационных мероприятиях**

В период с 25 по 28 сентября 2023 года в г. Хабаровске, совместно ИГД ДВО РАН и ИГДС СО РАН организована и проведена IX Всероссийская научная конференция с участием иностранных учёных «Проблемы комплексного освоения георесурсов». Конференция посвящена празднованию 300-летия РАН и 40-летию Института горного дела ДВО РАН и прошла в рамках Десятилетия науки и технологий.

Сотрудники Института приняли участие в выставке разработок и в работе I Арктического конгресса «Арктика – территория стратегических научных исследований», проходивших 23-24 октября 2023 года в г. Якутске.

**Публикации Института:** Всего публикаций - 86 (из них 6 в WoS и 14 в Scopus), в том числе: глава в монографии, 46 статей в журналах, 27 статей и докладов в материалах конференций, 2 патента РФ, 10 баз данных и программ для ЭВМ.

## **2.7. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ, ЭКОЛОГИИ И КРИОЛОГИИ СО РАН**

Работы выполнены в рамках проекта «Изучение геосистем горнорудных территорий с благороднометалльным оруденением золото-кварцево-сульфидной формации Забайкалья с целью прогноза гипогенного и гипергенно-техногенного минерального сырья и оценки их влияния на окружающую среду с использованием экспедиционных исследований».

*Руководитель д.г-м.н. профессор Г.А. Юргенсон*

Изучение вещества хвостохранилищ, как источников недоизвлеченных полезных компонентов и как экологически опасных техногенных массивов, является актуальной задачей, требующей проведения всесторонних минералого-геохимических исследований, на основе которых возможна разработка эффективных технологий их переработки. Это чрезвычайно важно для Забайкалья, являющегося одним из рудных регионов страны, где наряду с Уралом и Рудным Алтаем добыча ценнейших полезных ископаемых продолжается более 320 лет (Геологические ..., 1999). Объемы образованных за эти годы отходов горного производства только в Восточном Забайкалье исчисляются в сотни миллионов тонн, занимая большие площади сельскохозяйственных земель.

1. Результаты изучения перехода в миграционное состояние химических элементов, слагающих техногенные массивы, сформированные в результате отработки рудных месторождений в Забайкалье (Е.С. Эпова, О.В. Ерёмин, Г.А. Юргенсон).

В 2023 году продолжены минералого-geoхимические исследования техногенных массивов Дарасунского, Ключевского, Любавинского, Казаковско-Ключевского рудников, комбината Балейзолото, а также Шерловогорского ГОКа с целью создания модели перехода в миграционное состояние генетически обусловленных ассоциаций химических элементов, их миграции и отложения в виде новообразованных минеральных фаз во фрагментах геотехногенных месторождений в отходах горного производства. В частности, изучался минеральный и химический состав лежальных техногенных песков хвостохранилищ, новообразованные минералы на различных субстратах техногенных массивов.

Окисление сульфидных руд при доступе кислорода воздуха и наличии воды приводит к образованию серной кислоты, подкисляющей рудничные воды. Такой кислый рудничный дренаж является агрессивным раствором, способствующим дальнейшему окислению сульфидов и усиливающим geoхимическое преобразование территории. В результате его воздействия из руд и вмещающих пород месторождения извлекается комплекс элементов – потенциальных мигрантов, которые формируют ореол рассеяния и могут включаться в биогeoхимические круговороты, негативно влияя на биотическую составляющую ландшафта.

Проведены эксперименты по выщелачиванию руд Дарасунского месторождения золота разными реактивами:

а) раствором серной кислоты ( $H_2SO_4$ )  $pH=2$  – с целью имитации процесса воздействия на руды серной кислоты, образующейся в результате окисления сульфидов;

б) раствором перекиси водорода ( $H_2O_2$ ) 5% – для имитации окислительных условий (при отсутствии сульфидов);

в) раствором гидрокарбоната аммония ( $NH_4HCO_3$ ) 0,1 моль – с целью имитации влияния карбонатов на процесс преобразования руд, либо их взаимодействие с углекислым газом ( $CO_2$ ).

Для определения комплекса элементов – потенциальных мигрантов из рудных отвалов и отвальных хвостов использовалась методика, включавшая измельчение до фракции  $-1\div+0,5$  мм. Навески промывались дистиллированной водой от пыли, высушивались в сушильном шкафу при температуре  $45^{\circ}C$ , затем по 40 гр. пробы помещались в шприцы 5 мл, на выходе для фильтрации мелких частиц добавлен фильтр «красная лента». Для подачи растворов использовался перистальтический насос «Peristaltic pump type pp1-05» (Польша), скорость протекания раствора через навеску 3 мл/мин. Кислотность исходного ( $pH=2$ ) сернокислотного раствора определялась потенциометрическим методом с использованием pH-метра «Анион-7000» (Россия) с комбинированным электродом марки ЭСР10601/4. Фильтрат отбирался по 40 мл. Золото в твердых пробах определялось пробирным анализом, концентрации остальных элементов в твердых пробах и профильтрованных растворах проводился в аккредитованной лаборатории СЖС «Восток Лимитед» методом масс-спектрометрии с индукционно связанный плазмой, контролировалось пробирным анализом. Все окислы силикатной группы определены методом ICP95A, а в форме элементов – ICM40B. Минеральный состав проб определялся методом обычного минералогического анализа, а также в аншлифах и прозрачно-полированных шлифах с использованием поляризационного микроскопа AXIO SCOPE A1 и и электронно-зондовым методом на раствором электронном микроскопе LEO 1430 VP (аналитик Е.А. Хромова, ГИН СО РАН, г. Улан-Удэ, руководитель лаборатории к.т.н. С.В. Канакин). Диагностика ряда минеральных фаз, прежде всего, сульфатов, арсенатов и карбонатов выполнена с использованием рентгеноструктурного анализа (Институт земной коры СО РАН, аналитики Т.С. Филева, М.Н. Рубцова).

В целом при взаимодействии руд с разными видами реагентов наиболее реактивным показал себя раствор серной кислоты. Этим реагентом извлекаются наиболее высокие концентрации элементов: Ca, Mg, Fe, Mn, Ba, Sr, Co, Sn. Кроме того, только сернокислотный раствор выщелачивает из руд Y, Be, Ga и лантаноиды. Гидрокарбонатом аммония извлекаются большее количество As, Sb, Rb и Th, а только этим реагентом извлекаются Ag, Mo, U,

Zr, P, Sc, Cr, Cs. При воздействии растворами серной кислоты и гидрокарбоната на руды, в жидкую фазу переходят Al, Cu, Pb, Zn, Cd, Ni, Te и Tl, а в фильтрате перекиси водорода отсутствуют. Калий и натрий извлекаются только растворами перекиси водорода и серной кислоты примерно в равных концентрациях. В общей сложности из руд извлекаются в макрокомпоненты ( $\geq 1$  мг/л): Ca, Mg, P, Fe, As, в концентрациях ( $\leq 1$  мг/л): Cu, Pb, Zn, Cd, Ag, Sb, Mn, Mo Co, Sr, Sc, Cr, Cs, Rb.

Экспериментальные данные показали высокую подвижность таких элементов как As, Ca, Cu, Fe, Pb, Mg, Mn, Zn. Из руды классом  $-5 \div +2,5$  мм в незначительных концентрациях в раствор переходят Bi, Ni, Y, P, La, и Cr, из более мелкого класса ( $1 \div 2,5$  мм), помимо указанных элементов мигрируют Ba, Ag, Ti, Mo, Co. При этом различные химические элементы в условиях воздействия использованных реагентов ведут себя по-разному. На рисунке 1 показано извлечение сурьмы из рудного отвала Дарасунского месторождения.

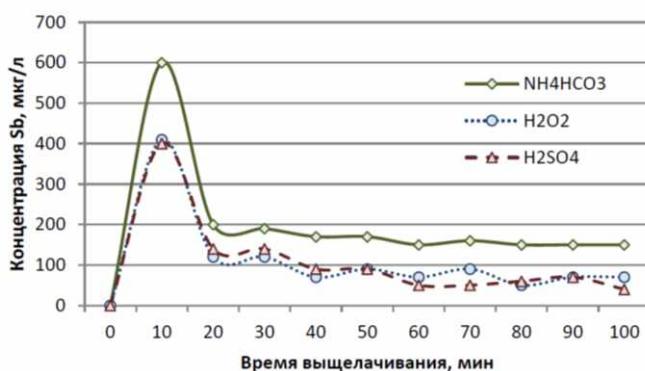


Рисунок 1 – Динамика извлечения сурьмы из руд месторождения золота  
Дарасунское в течение времени

Особенности извлечения кислотным раствором главных мигрантов из пробы рудного отвала Ключевского месторождения показана на рисунке 2.

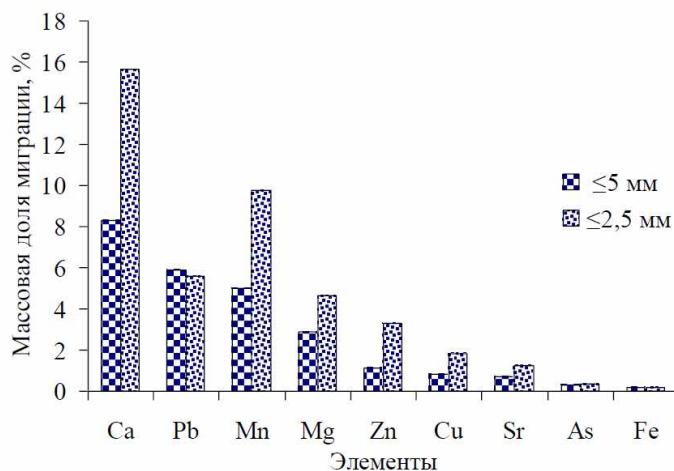


Рисунок 2 - Доли миграции компонентов из рудного отвала Ключевского месторождения

## 2. Результаты изучения современного минералообразования в техногенном массиве (Г.А. Юргенсон, Р.А. Филенко)

Определено, что перешедшие в миграционное состояние химические элементы на различных геохимических барьерах в пределах техногенных массивов, а также в рыхлом материале, заполняющем пространство карьеров, в их бортах и донных поверхностях временных водных потоков образуют ассоциации твердых фаз, преимущественно сульфатов, карбонатов и арсенатов этих химических элементов.

Проблема изучения современного минералообразования относится к многоаспектным и особенно актуализируется в горнопромышленных регионах, где идет интенсивное воздействие на природные ландшафты, компоненты которых испытывают коренную трансформацию.

Функционирование водотоков, образующихся вследствие нарушения естественных гидрологических систем, широко проявлено на участках подземной и открытой разработки рудных месторождений, а также в геотехногенных массивах хвостохранилищ обогатительных фабрик и скоплений вскрышных горных пород и складов руд. Здесь происходит вынос и водная миграция различных, в том числе и токсичных химических элементов.

Наибольшую экологическую опасность представляют химические элементы, мигрирующие в истинных растворах. В такой форме значительно дольше участвуют в миграционном процессе Zn, Cu, Mg, Ni, Co, U, Mo и другие химические элементы, но и они в итоге выводятся из миграционного потока на различных, прежде всего окислительных, восстановительных, сорбционных, физико-химических и биологических барьерах.

В результате наблюдаемые даже визуально, современные минеральные образования являются четкими индикаторами как процессов миграции и концентрирования химических элементов, так и критерием высокой минерализации водотока, а также и начала его очищения.

В составе техногенных массивов интенсивно развиты эпосмит, мелантерит, роценит, старкейт, пикерингит, халькантит, гексагидрит, брошантит, скордит, рузвельтит, бисмутит, англезит, церуссит, плюмбоярозит, вульфенит, фармакосидерит, миметезит, иодаргирит, гидротунгстит и другие. Как в моно- так и в полиминеральных ассоциациях наблюдаются примеси сопутствующих химических элементов (мас. %), таких как Zn (до 1,83), Cu (до 6,31), Mo (0,3) и As (до 0,12), Ni (0,1), Co (0,06), U (до 0,003), Sb (до 0, 013), Pb (0,0137 – 0,0342), W (до 0,0018), Bi (0,0022), Cd (0,0018), Hg (0,0001 – 0,0008), Te (0).

### **3. Результаты физико-химического моделирования современного минералообразования в техногенных массивах (О.В. Еремин, Г.А. Юргенсон, Е.С. Эпова).**

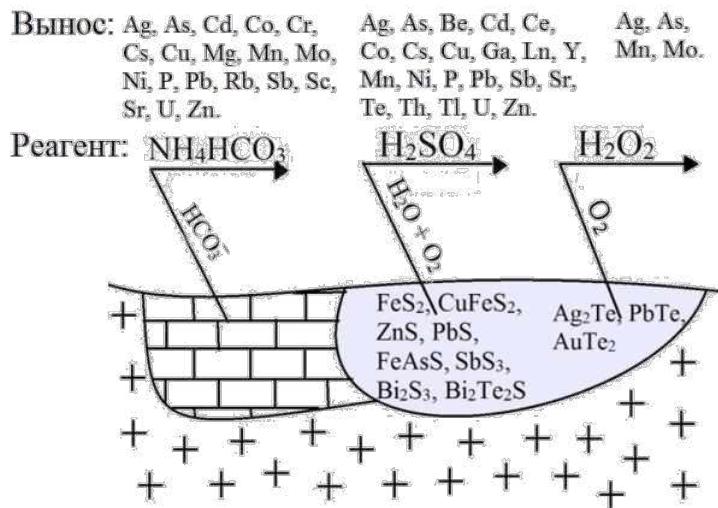
Изучение руд месторождений золота Восточного Забайкалья показало постоянное присутствие в них теллура и его широкого спектра минеральных фаз (Спиридонов и др., 2010; Юрженсон, 2022, 2023 и др.). Обнаружен он и в лежальных хвостах золотоизвлекательных фабрик в количестве 0,2–1,6 г/т, но минеральные его формы в них еще не выявлены. Поэтому, исходя из анализа выявленных минеральных ассоциаций в рудах с использованием программы СЕЛЕКТОР методом минимизации стандартных энергий Гиббса проведён расчёт равновесных состояний в системе Ag-Au-Se-Te в количественном соотношении Ag:Au=1:1 моль и переменными количествами селена и теллура, в определенных окислительно-восстановительных условиях, и создана соответствующая физико-химическая модель равновесных минеральных фаз теллура (теллуридов, теллуритов и теллуратов) с золотом и серебром в зоне гипергенеза продуктах переработки этих руд, в том числе, лежальных хвостах.

### **4. Минералого-геохимическая модель перехода химических элементов в миграционное состояние и формирования геотехногенных месторождений в горнопромышленных геосистемах золоторудных формаций на примере Забайкалья (Г.А. Юрженсон, О.В. Еремин, Е.С. Эпова, Р.А. Филенко).**

В итоге выполнено обобщение результатов многолетних натурных экспериментальных исследований и физико-химического моделирования поведения теллура и сопутствующих химических элементов в геосистемах, включающих природные и геотехногенные ландшафты горнопромышленных территорий золоторудных формаций и установлено:

1) руды, содержащие сульфиды, сульфосоли и теллуриды растворами серной кислоты, гидрокарбоната, образующимися в результате окисления сульфидов и преобразования карбонатов при участии кислорода и азота воздуха, в жидкую fazу переходят в концентрациях:  $\geq 1$  мг/л Ca, Mg, P, Fe, As;  $\leq 1$  мг/л Cu, Pb, Zn, Cd, Ag, Sb, Mn, Mo Co, Sr, Sc, Cr, Cs, Al, Cu, Pb, Zn, Ni, Te и Tl;

2) подвижные элементы поступают в рыхлые отложения, временные потоки и карьерные водоемы и переходят в твердые фазы на геохимических барьерах (рисунок 3);



**Рисунок 3 - Условия и формы миграции химических элементов в ландшафтно-геохимической горнорудной геосистеме золоторудных формаций. Показаны особенности развития процессов алюмосиликатной и карбонатной средах**

- 1) в восстановительных условиях зон вторичного обогащения в системе Cu-Ag-Au-Te-S образуются халькозин, ковеллин, теллуриды, антимониды, самородные Au, Ag, электрум;
- 2) возможные фазы представлены также твёрдыми растворами,  $\text{AuSb}_2$  и  $\text{Ag}_3\text{Sb}$  с самородными элементами (рисунок 4);
- 3) в окислительных условиях Ca, Mg, Fe, Cu, Pb, Zn, Cd, Mn, Co, Ni фиксируются в форме сульфатов с различным числом кристаллизационной  $\text{H}_2\text{O}$ , зависящем от энталпии, и широким развитием изоморфизма;



**Рисунок 4 - Экспериментальная модель и природное минералообразование на окислительно-восстановительных и испарительных геохимических барьерах**

1) при избытке кислорода в системе Au и Ag находятся в растворах в формах  $\text{Au(OH)}_5^{2-}$ ,  $\text{Ag(OH)}^{2+}$ , Te - в форме теллуридов и теллуратов, Pb в платтнерите ( $\text{PbO}_2$ ), сульфаты содержат трехвалентные Fe и Al (ярозит, Pb-ярозит, Ag-ярозит, пиккеренгит и др.), Si растворяется и присутствует в форме  $\text{SiO}_4^{4-}$  и дает опал  $\text{SiO}_2 \cdot \text{Si}(\text{OH})_n$  или халцедоновидный кварц, возникают гипергенные силикаты типа гемиморфита ( $\text{Zn}_4\text{Si}_2\text{O}_7(\text{OH})_2$ ) и др.

*Работа выполнена в рамках госзадания по теме № FUFR-2021-0005.*

### Литература

Геологические исследования и горнорудный комплекс Забайкалья. // Г.А. Юргенсон, В.М. Асоков, В. С. Чечеткин и др. Новосибирск: Наука - 1999. - 574 с.  
Спиридовон Э.М., Кривицкая Н.Н., Брызгалов И.А., Куликова И.М., Городецкая М.Д. Богатый висмутом ауростибит – продукт замещения мальдонита в вулканогенно-плутоногенном месторождении Дарасун (Восточное Забайкалье). // Доклады РАН – 2010. - Т. 435 - № 4 - С. 531–534.

Юргенсон Г.А. Теллуриды в золотосеребряных рудах Балейского рудного поля (Восточное Забайкалье). // Материалы Всероссийской конференции «Современные направления в развитии геохимии» - Иркутск: Издательство Института географии СО РАН. - 2022. - Т.2. - С. 243–245.

Юргенсон Г.А. Новые данные о петците Балейского рудного поля в Восточном Забайкалье. // Вестник ЗабГУ. 2023. Т.29.- №2. С. 24–25 // DOI 10.2109/2227-9245-2023-29- 2-24-35.

#### **Публикации по теме**

1. Юргенсон Г.А. О минералогии и геохимии ландшафта, современном минералообразовании и рациональном природопользовании как интеграции знаний о минералого-геохимических геосистемах. // Записки Российского минералогического общества. – 2023. - Вып. 6. - С. 121-124. DOI: 10.31857/S0869605523060072, EDN: HSDRGZ.
2. Eremin O.V., Yurgenson G.A. Mineralogy and geochemistry of tellurium in the some mining sites of Transbaikalia //E3S Web of Conferences, 2023, v 462. 03038 doi.org/10.1051/e3sconf/202346203038.
3. Eremin O.V., Epova E.S., Rusal O.S., and Yurgenson G.A. Phase transformations of Bi, Sb, Se, Te and U in the oxidation model of wolframite rocks of the Sherlovaya Gora deposit (Eastern Transbaikalia) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202346203019>.
4. Юргенсон Г.А. Геохимия горнoprомышленных геосистем рудных формаций Забайкалья. // Геодинамика и минерагения Северной Евразии: Материалы VI Международной научной конференции, посвященной 50-летию Геологического института им. Н. Л. Добречцова СО РАН. – Улан-Удэ: Издательство Бурятского госуниверситета, 2023. – С. 606 – 609.
5. Юргенсон Г. А. Новые данные о петците Балейского рудного поля в Восточном Забайкалье. // Вестник ЗабГУ. 2023. Т.29. №2. С. 24 –25 // DOI 10.2109/2227-9245-2023-29- 2-24-35.
6. Юргенсон Г.А., Филенко Р.А. Современное минералообразование в геотехногенных ландшафтах Забайкалья. // Материалы Годичного собрания РМО «Минералого-геохимические исследования для решения проблем петро-и рудогенеза, выявления новых видов минерального сырья и их рационального использования» и Федоровской сессии 2023. СПб. - 2023. - С. 192–193. <https://doi.org/10.30695/zrmo/2023.094>.
7. Эпова Е.С., Юргенсон Г.А., Еремин О.В. Сравнительный анализ результатов экспериментальных исследований по моделированию выщелачивания руд олова, вольфрама и золота. // Труды IX Всероссийского симпозиума с международным участием «Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий» и XVI Всероссийских чтений памяти акад. А.Е. Ферсмана «Рациональное природопользование», «Современное минералообразование» 26 августа – 2 сентября 2023 г., Россия. Чита: ООО «Экспресс-издательство», 2023. – С. 70–74.
8. Эпова Е.С., Юргенсон Г.А., Еремин О.В. Сравнительный анализ результатов экспериментальных исследований по моделированию выщелачивания руд олова, вольфрама и золота // там же. С. 103–106.

### **2.8. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА УРО РАН**

**Направление: Комплексная, технологически эффективная и экологически безопасная добыча, обогащение и глубокая переработка минерального сырья, безопасность горного производства**

1. В качестве методологических основ стратегии комплексного освоения месторождений твердых полезных ископаемых обоснованы: параметры устойчивости уступов и бортов карьеров с учетом трещиноватости массива, оптимальные параметры комбинированных систем разработки твердых полезных ископаемых с учетом показателей извлечения и эксплуатационных затрат, разработано программное обеспечение для моделирования автотранспортных систем карьеров, адаптация параметров буровзрывных работ на основе экранирования ударно-воздушного действия взрывов, выделение в массиве типосортов руд с целью формирования рудопотока заданного качества с применением систем рудоподготовки, методы обеспечения функционирования системы безопасности горнодобывающего производства (рисунок 1).

**Яковлев В.Л.** Обсуждение назревшей проблемы особенности современного периода исследований по проблемам комплексного освоения недр и развития минерально-сырьевой базы России. / В.Л. Яковлев // Проблемы недропользования. – 2023. – № 3(38). – С. 21-34.



**Рисунок 1- Блок-схема взаимосвязанных процессов горного производства**

2. Разработано программное обеспечение для моделирования функционирования автотранспортной системы карьера, отличающееся:

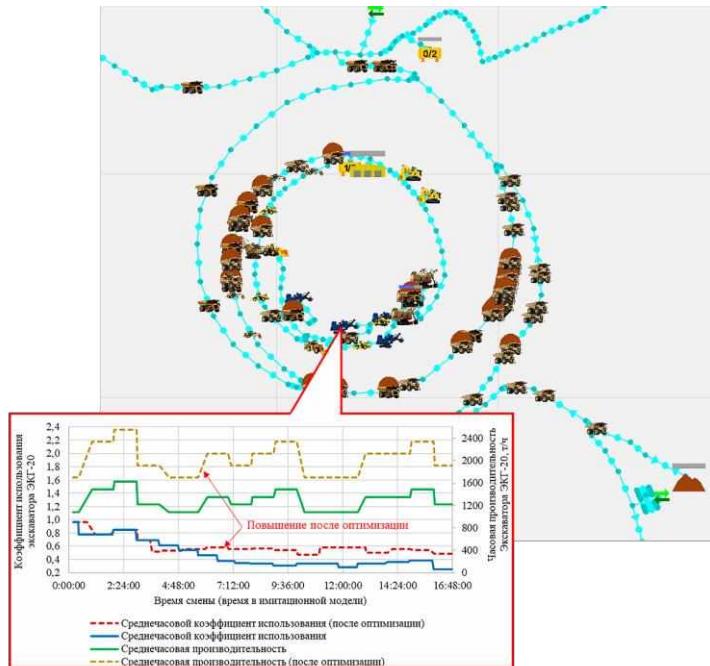
- учетом параметров горной выработки, схемы вскрытия, а также качественных характеристик руды при формировании грузопотоков;
- применением мультиагентного подхода с возможностью варьировать правила функционирования автосамосвалов и экскаваторов;
- учетом влияния состояния автомобильных дорог на работу карьерных автосамосвалов и работы дорожно-строительной техники по их содержанию;
- возможностью вариативного моделирования за счет архивирования состояний системы и их воспроизведения от выбранного момента по бифуркационному сценарию.

Программное обеспечение апробировано при создании имитационной модели функционирования экскаваторно-автомобильного комплекса глубокого карьера с производительностью по горной массе 130 млн.т/год (рисунок 2).

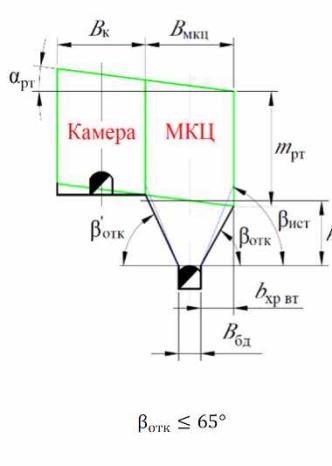
**Журавлев А.Г.** Поиск резервов повышения производительности экскаваторно-автомобильных комплексов с применением компьютерного моделирования. / А.Г. Журавлев, И.А. Глебов, В.А. Черепанов. // Горная промышленность. – 2023. – № 6. – С. 68-77.

3. Разработана методика оценки и определения оптимальных параметров комбинированной системы разработки пологих месторождений бедных комплексных руд по критерию прибыли на 1 т погашаемых балансовых запасов, включающая зависимости показателей извлечения и эксплуатационных затрат на основные технологические процессы добычи руды от факторов: мощности залежи, ширины камеры и междукамерного целика, угла откоса породной выпускной траншеи (рисунок 3). Установлено, что совокупное влияние этих факторов определяет эффективность комбинированной системы разработки, сочетающей камерную выемку с плоским днищем и этажное обрушение междукамерного целика на траншее днище (прибыль в 1,7-3,5 раза выше, чем при традиционной системе этажного принудительного обрушения).

Экогеотехнология добычи бедных руд с созданием условий для попутной утилизации отходов горного производства. / И.В. Соколов, Ю.Г. Антипин, А.А. Рожков, Ю.М. Соломенин. // Записки Горного института. – 2023. – Т. 260. – С. 289-296.



**Рисунок 2– Повышение коэффициента использования экскаваторов за счет корректировки режима работы автомобильного транспорта при имитационном компьютерном моделировании работы технологического транспорта в глубоком карьере**

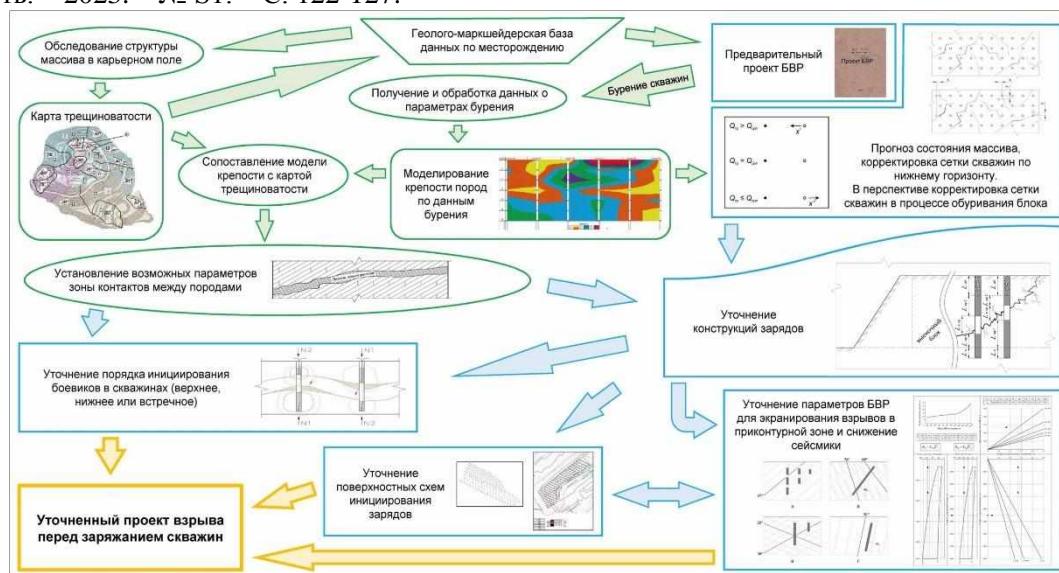


Показатель	Зависимость
Показатели извлечения руды	
Потери	$\Pi = 100 \{0,5 [h_{bt} \operatorname{ctg} \beta_{ist} + 0,5 B_{bd} + 0,5 B_{mk}] [B_{mk} - B_{bd}] \operatorname{tg} \beta_{ist} + [m_{pt} + h_{bt} - B_{mk} (B_{mk} - B_{bd})] \operatorname{tg} \beta_{ist}\} / m_{pt} B_{mk}$
Разубоживание	$P = \{0,5 (m_{pt} + h_{bt}) [(2 (m_{pt} + h_{bt}) \operatorname{ctg} \beta_{ist} + B_{bd}) W + 0,7 B_{bd} h_{bd}] - [0,5 (h_{bt} \operatorname{ctg} \beta_{ist} + 0,5 B_{bd} + 0,5 B_{mk}) (B_{mk} - B_{bd}) \operatorname{tg} \beta_{ist} + (m_{pt} + h_{bt} - B_{mk} (B_{mk} - B_{bd})) \operatorname{tg} \beta_{ist}\}] W\} / 0,5 (m_{pt} + h_{bt}) [(2 (m_{pt} + h_{bt}) \operatorname{ctg} \beta_{ist} + B_{bd}) W + 0,7 B_{bd} h_{bd}]$
Эксплуатационные затраты на основные процессы добычи	
ПНР	$C'_{пнр} = [29,2 (88,2 (B_k + B_{mk}) + 3583) + 37,5 ((5,4 + 0,1 m_{pt}) (B_k + B_{mk})) + 4 m_{pt}] / m_{pt} (B_k + B_{mk})$
Отбойка	$C'_{отб} = [(318,1 + 335,9) (m_{pt} B_k - S_{bd}) L_k + 460,7 (m_{pt} B_{mk} + 0,5 ((B_{mk} + B_{bd}) h_{bt})) L_{mk}] / 300 m_{pt} (B_k + B_{mk})$
Выпуск и доставка	$C'_{bd} = [74,2 (Q_{об} + 0,5 (B_{кон}^{max} + B_{bd}) h_{bt})] / 3 m_{pt} (B_k + B_{mk}) L_{bd}$
Обрушение налагающих пород	$C'_{онп} = 218,7 [((h_{bt} / \operatorname{tg} \beta_{ist} + B_{bd}) h_{bt} + m_{pt} B_{mk}) - 0,5 (B_{mk} - B_{кон}^{max}) \operatorname{tg} \beta_{ist} + S_{bd}^{штр}] / 1,5 B_{mk} / 3 m_{pt}$

**Рисунок 3 – Расчетная схема и зависимости основных показателей от мощности залежи ( $m_{pt}$ ), ширины камеры ( $B_k$ ) и междукамерного целика ( $B_{mk}$ ), угла откоса выпускной траншеи ( $\beta_{otp}$ )**

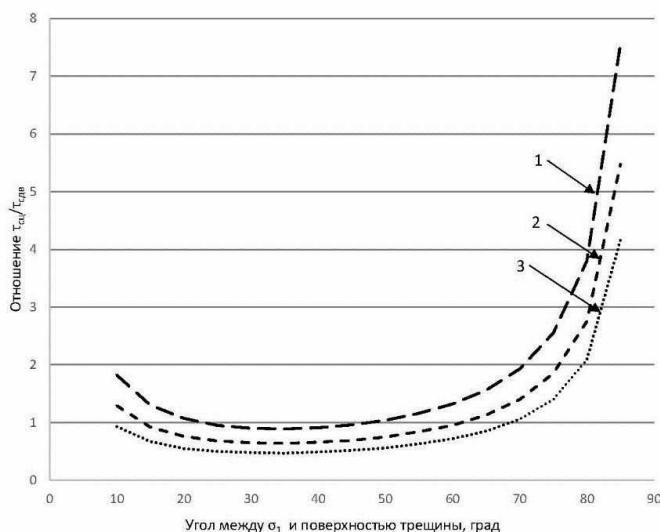
4. Развиты методологические основы адаптации параметров буровзрывных работ (БВР) к изменяющимся горно-геологическим условиям при разработке сложно-структурных месторождений твердых полезных ископаемых. Показано, что процесс адаптации БВР на карьерах включает поэтапное уточнение: конструкции зарядов взрывчатых веществ (ВВ); схем и порядка инициирования, в т. ч. промежуточных детонаторов (ПД) в скважинах (верхнее, нижнее или встречное); параметров экранирования взрывов в приконтурной зоне со снижением сейсмического, ударно-воздушного действия взрывов и разлета отдельных кусков горной массы. Методика основана на установленных фактах: неоднородности горного массива по трещиноватости по данным шарошечного бурения; взаимосвязи скорости детонации ВВ с плотностью и диаметром заряда ВВ в разных его диапазонах. Установлено: повышение скорости детонации основного заряда ВВ при увеличении активной массы ПД; влияние степени затухания сейсмовзрывных колебаний на скорость смещения охраняемых участков бортов карьера при различном направлении инициирования зарядов ВВ (рисунок 4).

Изучение промышленной сейсмики для уточнения методики оценки влияния взрывов на устойчивость охраняемых объектов. / С.Н. Жариков, В.А. Кутуев. // Горная промышленность. – 2023. – № S1. – С. 122-127.



**Рисунок 4 - Методологические основы адаптации параметров БВР к изменяющимся горно-геологическим условиям при разработке сложно-структурных месторождений**

5. Установлено, что оценка устойчивости приборного массива при его различном структурно-тектоническом строении производится по результатам геомеханических расчетов коэффициента запаса устойчивости на основе установления направления и уровня компонент тектонического поля напряжений во взаимосвязи со свойствами поверхностей ослабления массива и углом между максимальным главным напряжением и поверхностью трещины. Уменьшение значений физико-механических свойств по поверхности контакта приводит к расширению диапазона углов падения потенциально подвижных нарушений (рисунок 5).



**Рисунок 5 - Коэффициент запаса устойчивости приборового массива при различных прочностных свойствах поверхностей ослабления массива:**

1 - шероховатый контакт при  $\phi'=20^\circ, C'=0.5 \text{ MPa}$ ; 2 - слабошероховатый контакт при  $\phi'=15^\circ, C'=0.3 \text{ MPa}$ ; 3 - гладкий увлажненный контакт при  $\phi'=12^\circ, C'=0.1 \text{ MPa}$

**Яковлев В.Л.** Методические основы обеспечения устойчивости уступов и участков бортов карьеров. / В.Л. Яковлев, А.В. Яковлев, Е.С. Шимкив. // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2023. – № 6. – С. 3-12.

6. На основе аналитических исследований и систематизации методов оценки сырьевой базы рудных месторождений обоснованы и апробированы методические положения по выделению в массиве горнорудного сырья, сортов и типов руд на основе заданных требований к их качественным параметрам. Усовершенствованы методики формирования геологической базы данных за счет введения комплексных расчетных показателей качества на основе логических выражений и математических функций, которые с использованием динамических цифровых моделей позволяют повысить эффективность планирования горных работ в режиме управления качеством рудного сырья и формирования рудопотоков (рисунок 6).

Методика планирования экскаваторных работ в карьере на основе компьютерного моделирования. / В.Д. Кантемиров, А.М. Яковлев, Р.С. Титов, А.В. Тимохин. // Горная промышленность. – 2023. – № 6. – С. 75-80.

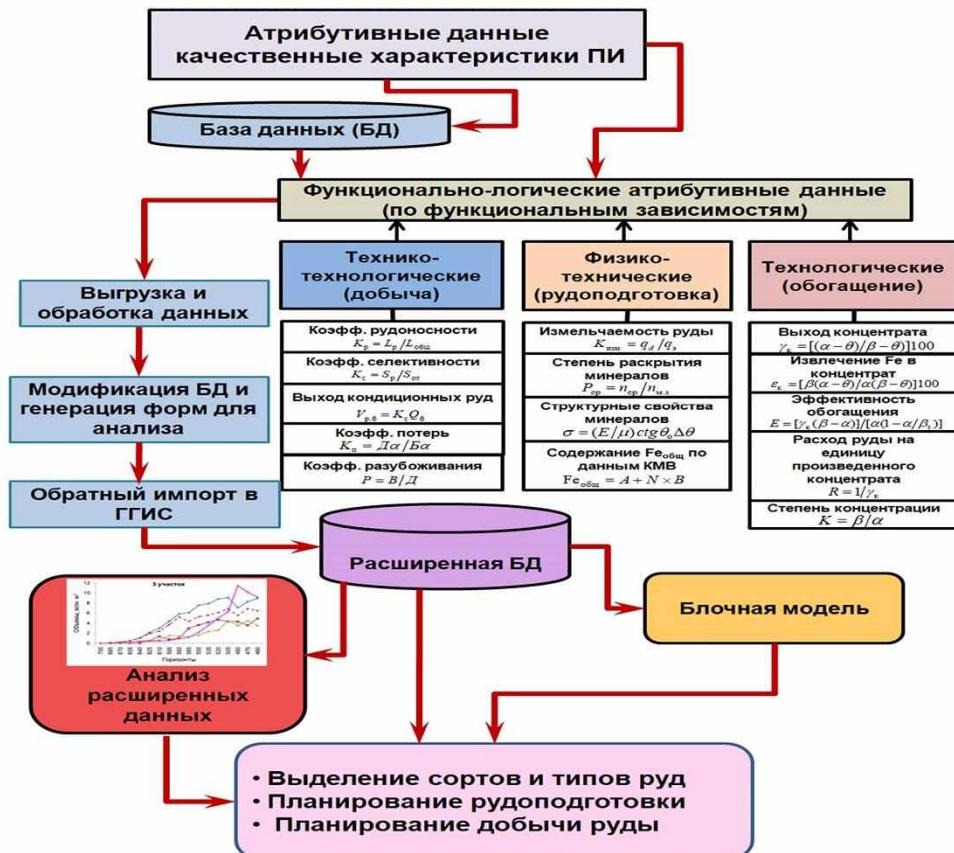


Рисунок 6 – Блок-схема к методическим положениям по выделению в массиве горнорудного сырья

7. Установлено, что в условиях развития горнотехнических систем объектом контроля и управлеченческих воздействий на горном производстве должен стать производственный риск, отражающий как риск травмы, аварии, так и риск невыполнения производственного задания. Предложены в качестве основных критериев производственного риска результативность функционирования системы обеспечения безопасности производства (СОБП) горнодобывающего предприятия и компетентность персонала всех уровней управления. Систематизированы и разработаны оценочные показатели производственного риска (рисунок 7).

**Корнилков С.В.** Индикаторы зарождения опасных производственных ситуаций в данных комплексного мониторинга состояния горных работ. / С.В. Корнилков, И.Л. Кравчук, В.А. Черепанов. // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2023. – № 1. – С. 89-100.

Показатель	Формула	Метод / результат управления производственным риском
<b>Результативность функционирования системы обеспечения безопасности производства</b>		
Коэффициент устранимости нарушений требований безопасности (Кустр.)	$K_{\text{устр.}} = \frac{\sum_{i,j=1}^{n,5} N_{yi} \cdot \sigma_j}{N_B}$	Сокращение времени существования нарушений требований безопасности (безопасность). Снижение ограничения на производительную работу (эффективность)
Коэффициент повторяемости нарушений требований безопасности (Кповт.)	$K_{\text{повт.}} = \frac{N_{\Pi}}{N_B}$	Сокращение количества нарушений требований безопасности (безопасность). Снижение ограничения на производительную работу (эффективность)
Коэффициент полноты выполнения функций (Кп)	$K_{\Pi} = \sum_{i=1}^n K_{\exists i}$	Выявление и устранение опасных производственных ситуаций обеспечивает приемлемый (управляемый) уровень опасности и производительности работ. Повышение квалификации участников производственного процесса через вовлеченность в эту работу (безопасность)
Коэффициент эффективности организационного инструмента контроля СОБП (Кэф.)	$K_{\text{эф.}} = \left(1 - \frac{K_p \cdot K_{\text{повт.}}}{K_{\text{устр.}}} \right) \cdot K_{\text{чили}}$	Адекватное использование инструментария СОБП обеспечивает безопасность труда без ущерба для его производительности
<b>Компетентность персонала</b>		
Коэффициент человеческого фактора (ЧФ)	ЧФ = ФКС – ТКС	Формирование необходимых компетенций и соответствующей компетентности работников в части одновременного обеспечения безопасной и производительной работы

Рисунок 7 - Показатели производственного риска

#### Направление: Геомеханика, современная геодинамика, мониторинг опасных техногенных процессов

1. Проведены экспериментальные и аналитические исследования параметров современных геодинамических движений, на основе которых:

- получены скорости современных геодинамических движений регионов РФ и разработана методика оценки достоверности результатов определения скоростей;
- создана база данных по наблюдениям за сдвижением земной поверхности, с помощью методов геоинформационного анализа ретроспективных данных мониторинга процесса сдвижения выявлены трехлетние циклы поднятий/оседаний земной поверхности;
- установлена зависимость соотношения значений объемной активности радона и торона в почвенном воздухе: на участках деформаций растяжений увеличивается доля радона, а на участках деформаций сжатия увеличивается доля торона;
- разработана методика оценки порядка отработки обособленных геологических блоков, учитывающая пространственно-временные параметры зон концентрации напряжений рудопородного массива;
- выявлены закономерности формирования границ зон опасных деформаций при выемке крутопадающих рудных тел средней и малой мощности, учитывающие изменения сжимающих и растягивающих техногенных напряжений (рисунок 8).

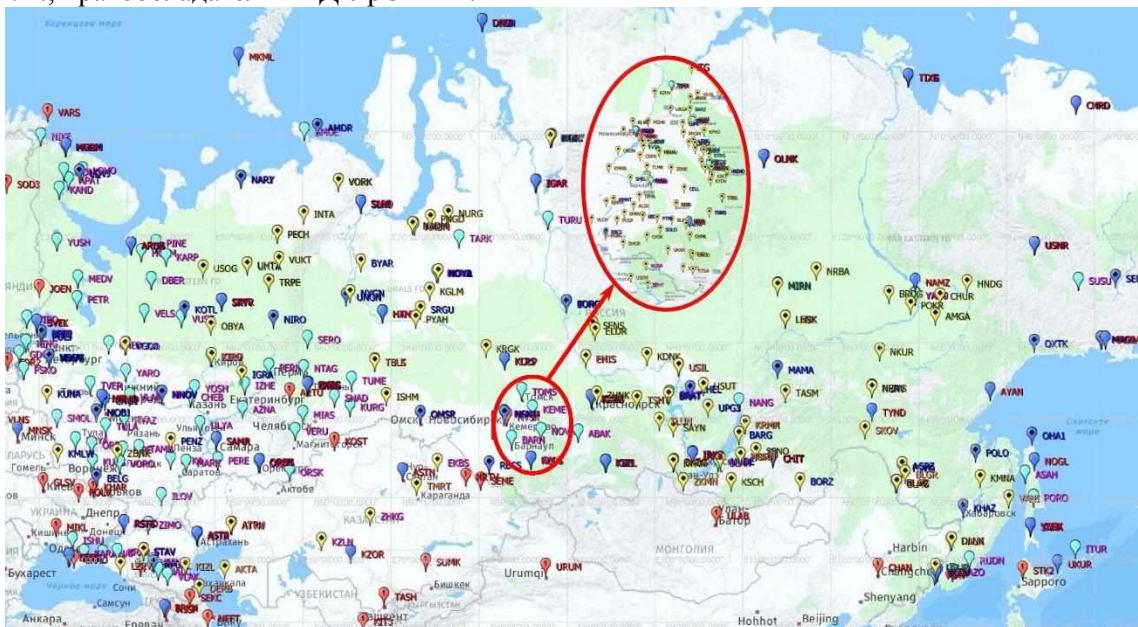
**Далатказин Т.Ш.** Исследования по оценке современной геодинамической активности при помощи методики срединного градиента. / Т.Ш. Далатказин, А.С. Ведерников, Д.В. Григорьев. // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2023. – № 4. – С. 314-323.

2. С целью исследования параметров геодинамической активности территории России на федеральном и региональном уровнях выполнены экспериментальные определения скоростей современных геодинамических движений наблюдательных пунктов, представленных постоянно действующими ГНСС станциями международных, федеральных, ведомственных и корпоративных геодезических сетей. Разработана методика оценки достоверности результатов определения скоростей современных геодинамических движений земной поверхности. Установлено, что вследствие неравномерности распределения величин геодинамических движений в массиве образуются зоны концентрации главных и сдвиговых деформаций, что может привести к формированию областей с повышенным риском возникновения техно-природных аварий и катастроф при недропользовании (рисунок 9).



**Рисунок 8 – Алгоритм проведения экспериментальных исследований**

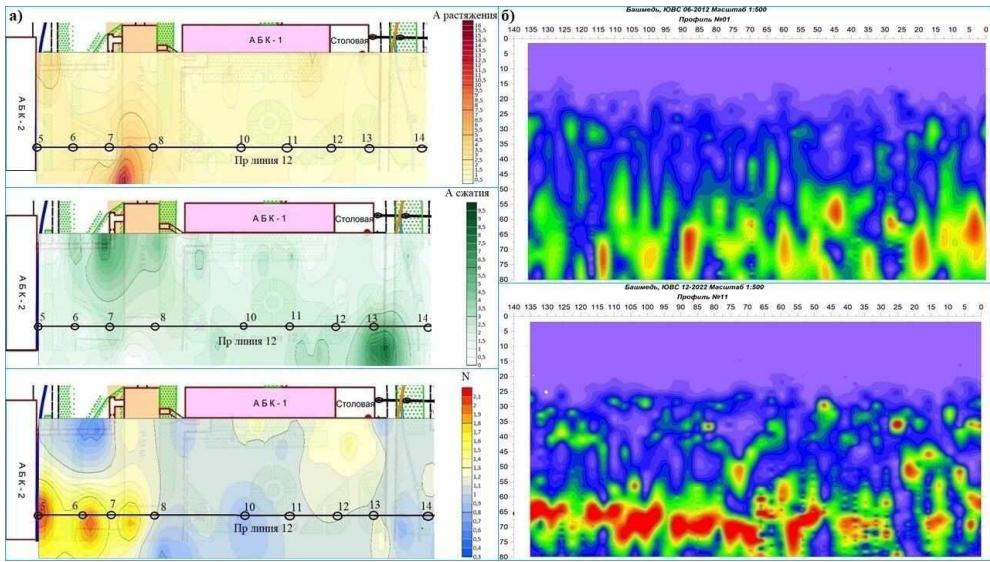
Современные геодинамические движения территории Кузбасса и Алтая: база данных: свидетельство о государственной регистрации № 2023623903: дата рег. 13.11.2023: опубл. 13.11.2023 Бюл. № 11: гос. рег. в Реестре баз данных 13.11.2023. / Панжин А.А., Панжина Н.А.; правообладатель ИГД УрО РАН.



**Рисунок 9 – Схема расположения наблюдательных пунктов на территории России и региональных, на территории Кузбасса**

3. Выявлены основные критерии возникновения катастрофических ситуаций от воздействия современных геодинамических движений на объекты недропользования, определяемые геофизическими методами. Сформулирована и экспериментально подтверждена гипотеза: в соотношении значений объемной активности радона и торона в почвенном воздухе на участках деформаций растяжений увеличивается доля радона, а на участках деформаций сжатия увеличивается доля торона, по сравнению с соседними, не охваченными деформациями участками. Определена результативность мониторинговых исследований методом спектрального сейсмопрофилирования за изменением дизъюнктивной структуры в зоне техногенного воздействия на массив горных пород. Модернизирована обработка результатов геофизических измерений методом спектрального сейсмопрофилирования (ССП) с использованием нового программного обеспечения (рисунок 10).

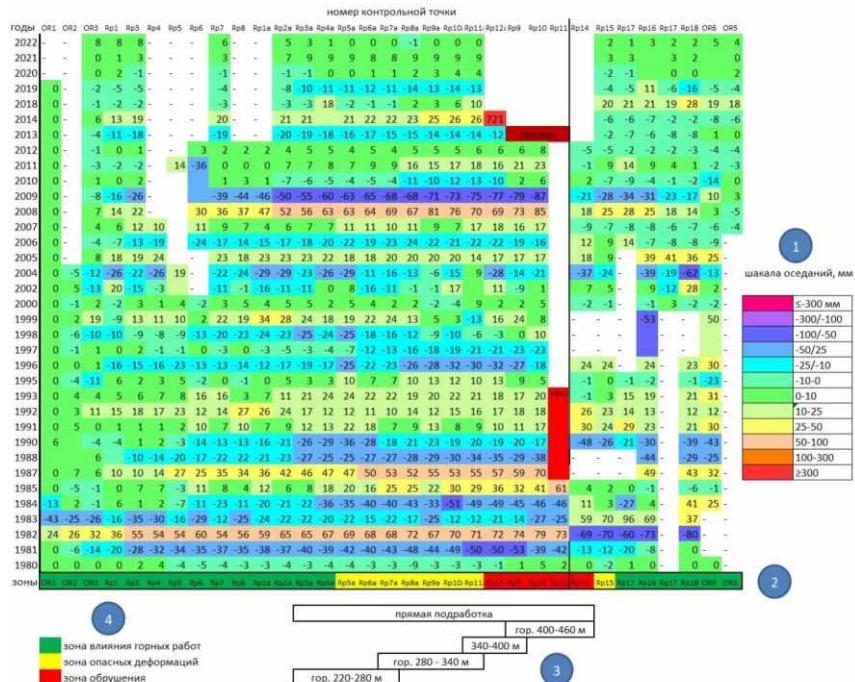
**Мельник В.В.** Изучение геомеханического состояния горного массива в подземных выработках геофизическими методами. / В.В. Мельник, Т.Ш. Далатказин, А.Л. Замятин. // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2023. – № 4. – С. 333-341.



**Рисунок 10 – Результаты исследований по выявлению участков растяжения и сжатия с использованием радионометрии на горном массиве промплощадки ш. «Северопесчанская» (а) и результаты использования мониторинговых исследований методом спектрального сейсмопрофилирования на горном массиве месторождения «Юбилейное» (б)**

4. На базе модельного месторождения черных металлов (Сарановского месторождения хромитовых руд) с помощью геоинформационных методов анализа ретроспективных данных мониторинга развития процесса сдвижения обнаружены трехлетние циклы поднятий/оседаний земной поверхности, которые сменяются на протяжении сорокалетнего периода с 1979 по 2022 год. Такой характер деформаций проявляется при сильном влиянии природных геодинамических факторов, представляющих опасность для охраняемых зданий и сооружений (рисунок 11).

К проблеме взаимосвязей между деформационными процессами земной поверхности природного и техногенного генеза. / С.В. Усанов, Ю.П. Коновалова, С.А. Ногин, Н.А. Панжина. // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2023. – № 4. – С. 286-295.



**Рисунок 11 – Матрица оседаний земной поверхности  
Сарановского месторождения за 1979-2022 гг.**

5. Разработана методика оценки порядка отработки обособленных геологических блоков, позволяющая учесть пространственно-временные протяженности зон концентрации напряжений рудопородного массива, формирующихся под воздействием современных геодинамических движений, которая предусматривает следующие этапы:

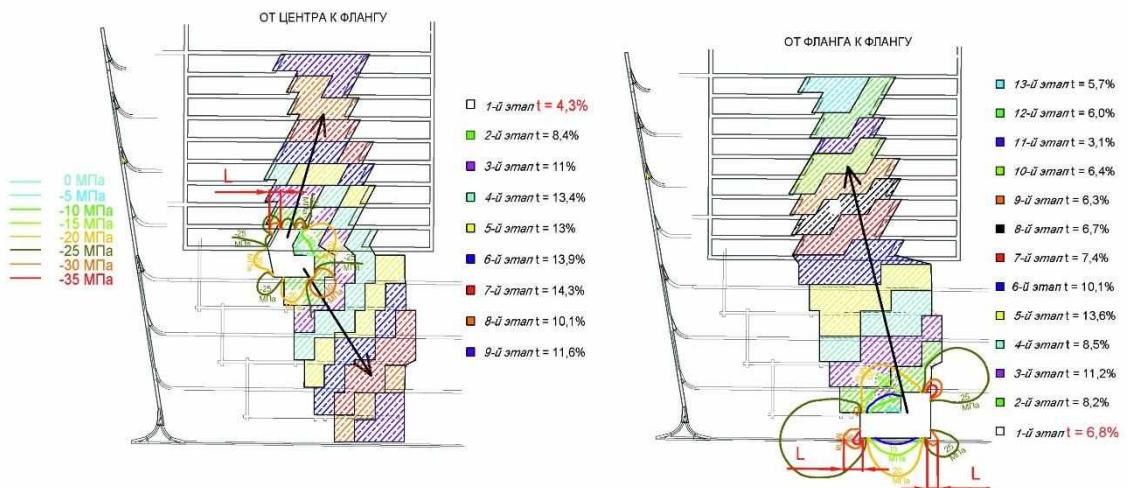
- составление математической модели рудопородного массива геологического блока;
- численное моделирование вариантов последовательности выемки блока;
- обоснование оптимальной выемки последовательности путем сопоставления вариантов напряженностей рудопородного массива днища с использованием коэффициента:

$$K = \int_{t=0\%}^{t=100\%} Lt dt$$

где: L – протяженность зон концентрации напряжений по трассе выработок днища, % от суммарной протяженности всех рассматриваемых выработок;

t – длительность воздействия на крепь зон концентрации напряжений, % от суммарной продолжительности выемки блока (рисунок 12).

Обоснование оптимального порядка отработки рудной залежи в условиях высоких напряжений и низкой прочности массива. / Балек А.Е., Харисов Т.Ф. Авдеев А.Н., Харисова О.Д. // Известия вузов Горный журнал. - 2023. - № 3. - С. 55-65.



**Рисунок 12 – План горизонта выпуска с изолиниями максимальных (по модулю) главных нормальных напряжений вмещающего массива, формирующихся при различных последовательностях выемки геологического блока**

**Направление:** Изучение и моделирование горнотехнических систем и процессов техногенного преобразования недр, численное моделирование и геоинформатика

1. Обоснованы основные подходы к разработке комплексной методики оценки защищенности горнопромышленных территорий, основанной на использовании данных геоинформационного мониторинга (рисунок 13). Предложены методы повышения точности определения гидрогеомиграционных и геофiltрационных параметров территорий с использованием цифровых моделей рельефа. Адаптированы методики пространственной привязки и геоинформационной обработки данных при оценке геомеханических, физико-механических, деформационных и горнотехнических параметров геосистем. мониторинга. Разработаны приемы индикативного анализа на основе биогеохимических показателей, характеризующих уровень устойчивости системы к негативным воздействиям. Обоснованы критерии оценки трансформации природно-техногенных комплексов для организации биогеохимических барьеров.

**Соколов И.В.** Геоинформационные технологии сопровождения процессов горного производства. / И.В. Соколов, С.В. Корнилков, А.А. Панжин. // Горная промышленность. – 2023. – № S5. – С. 41-46.



**Рисунок 13 – Алгоритм оценки защищенности горнопромышленных территорий**

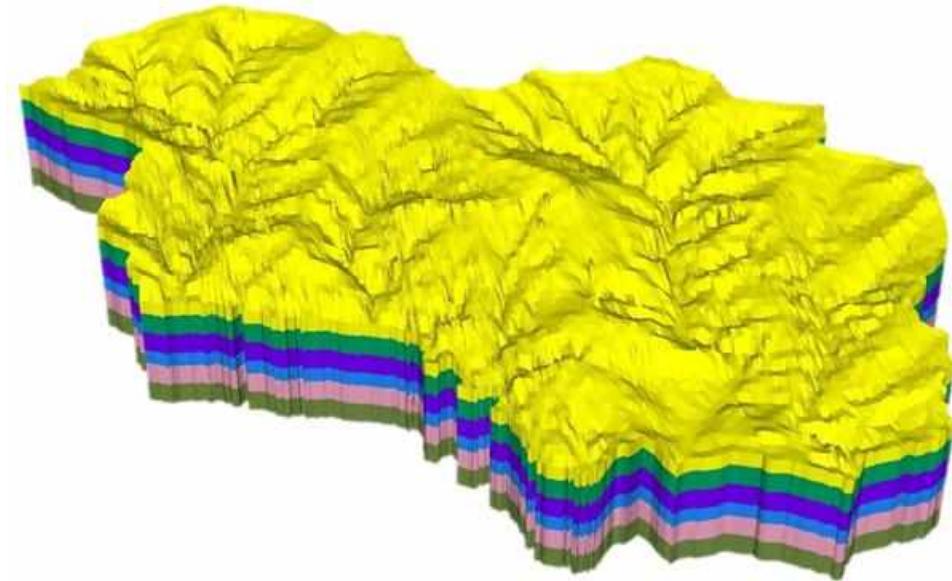
2. Для оценки защищенности/устойчивости экосистем установлены пороговые значения распределения концентраций CO<sub>2</sub>, при которых: окультуренная почва содержит CO<sub>2</sub> 2800-5000 ppm, слабо окультуренная – от 600-1000 до 2600 ppm, техногенный грунт с небольшими участками растительности в среднем до 400-550 ppm, при полном отсутствии растений грунт ниже 400 ppm. Показано, что формирование устойчивого травянистого покрова в зоне техногенного воздействия достигается применением биологических растительных ресурсов и торфодиатомитового мелиоранта (ТДМ) при создании искусственных биогеохимических барьеров, обеспечивающих локализацию и аккумуляцию меди и цинка в системе «грунт-растение» (рисунок 14).

**Антонникова Н.Ю.** Оценка возможности использования отходов железо-магниевого производства для очистки сточных вод от тяжелых металлов (Cd<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>, Co<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>). / Н.Ю. Антонникова, А.В. Собенин, А.И. Усманов, К.В. Шепель. // Записки Горного института. – 2023. – Т. 260. – С. 257-265.



**Рисунок 14 – Динамика локализации цинка и меди и аккумуляции цинка в системе «техногенный грунт-растение» при создании искусственного биогеохимического барьера**

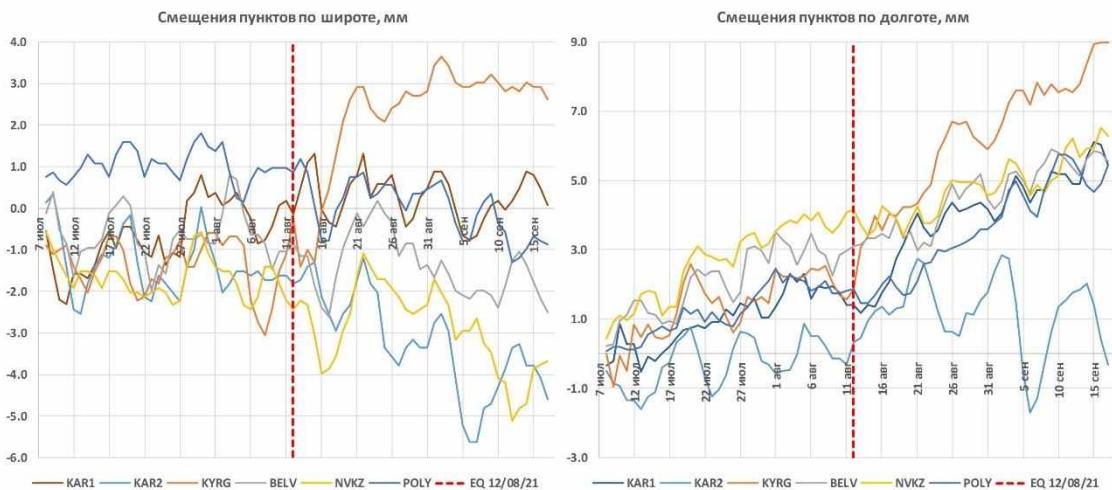
3. Установлено, что повышение точности геофилтратионных моделей обеспечивается использованием достоверных моделей рельефа, полученных по данным лазерного сканирования с дополнительной оцифровкой сложных участков и интерполяцией методом кригинга. Применение моделей по результатам дистанционного зондирования Земли без дополнительной корректировки является непригодным для работ, связанных с инженерными расчётами и геофилтратионным моделированием. Использование детальной цифровой модели рельефа, подготовленной с помощью геоинформационных методов (кригинг, вариограммный анализ), позволяет корректно решать обратные задачи геофилтрации и выполнять калибрацию как фильтрационных параметров, так и площадных граничных условий (инфилтрации, питания и разгрузки подземных вод) (рисунок 15).



**Рисунок 15 – Создание геофильтрационной модели на основе откорректированной цифровой модели рельефа**

4. По результатам пополнения базы данных современных геодинамических движений горнорудных территорий Кузбасса и Алтая построены посutoчные временные ряды смещений в период до и после мелкофокусного техногенного землетрясения в пгт Кыргай (12.08.2021, M=4,9). Инструментальными GNSS измерениями, в пост-сейсмический период зафиксирован рост величин растягивающих смещений и деформаций массива в широтном направлении, по преобладающим субмеридиональным тектоническим нарушениям района, при этом не было обнаружено деформационных свидетельств подготовки сейсмического события. В меридиональном направлении большинство GNSS пунктов выдерживают трендовую составляющую (для Кузбасса 26,5 мм/год), один – нет (рисунок 16).

Современные геодинамические движения территории Кузбасса и Алтая: база данных: свидетельство о государственной регистрации № 2023623903: дата рег. 13.11.2023: опубл. 13.11.2023 Бюл. № 11: гос. рег. в Реестре баз данных 13.11.2023. / Панжин А.А., Панжина Н.А.; правообладатель ИГД УрО РАН.

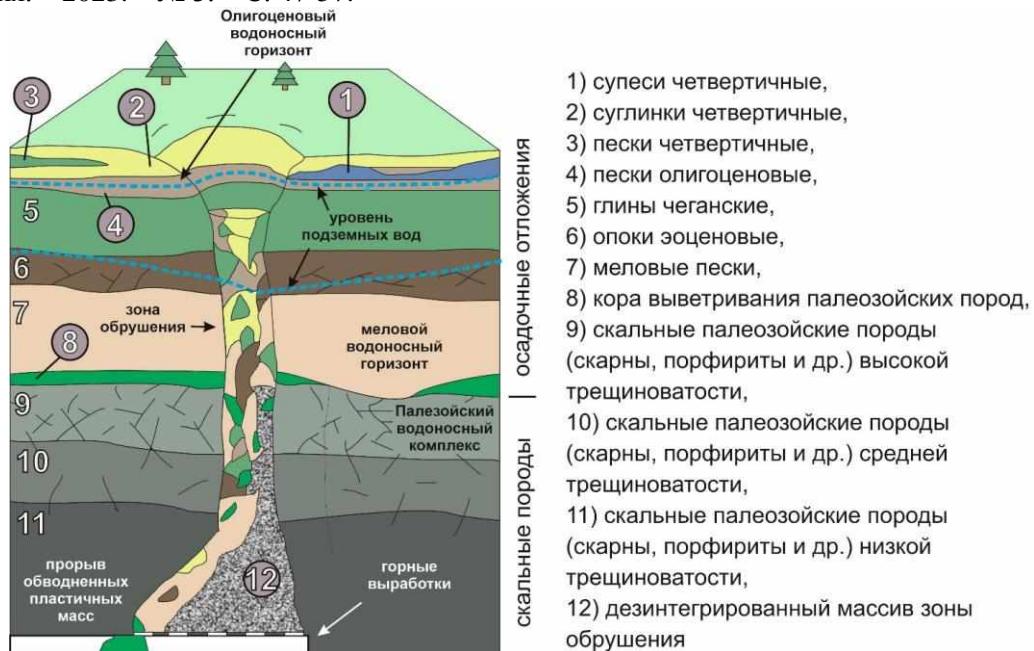


**Рисунок 16 – Графики смещений наблюдательных пунктов**

5. Обосновано, что формирование гидродинамической обстановки на разрабатываемых глубоко залегающих месторождениях в Тобольском артезианском бассейне определяется

соотношением фильтрационных параметров основного водоносного горизонта и зоны обрушения. Предложена концептуальная геофильтрационная модель системы «дезинтегрированный массив зоны обрушения – естественная геологическая среда» для описания процессов фильтрации и обоснования дренажных мероприятий. Определены режимы фильтрации, соответствующие разным этапам формирования дезинтегрированного массива. Показано, что увеличение фильтрационных параметров зоны обрушения по сравнению с параметрами водоносного комплекса не приводит к росту шахтных водопритоков. Значительное снижение водопритока происходит при уменьшении коэффициента фильтрации дезинтегрированного массива (на порядок относительно водоносного комплекса) (рисунок 17).

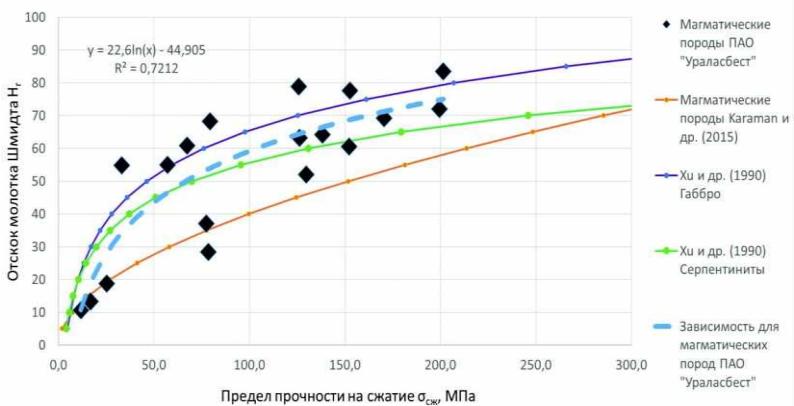
**Ефремов Е.Ю.** Обоснование осушения гидрогеодинамической системы «водовмещающие отложения - дезинтегрированный массив» при подземной разработке железорудных месторождений. / П.А. Рыбников, Л.С. Рыбникова. // Успехи современного естествознания. – 2023. – № 3. – С. 47-57.



**Рисунок 17 – Формирование воронки обрушения на шахте «Соколовская»**

6. Пополнена (более 150 образцов) и структурирована база данных лабораторных испытаний горных пород (физико-механические и деформационные свойства). Анализ базы данных показал разброс прочностных характеристик по образцам в 1,6–2,4 раза, который связан с различной степенью серпентинизации исследуемых пород. Для магматических пород Баженовского месторождения получены зависимости предела прочности в образце, дробимости и линии наименьшего сопротивления (ЛНС) от величины отскока молотка Шмидта. Анализ зависимостей показал, что ЛНС для тальк-карбонатных пород не соответствует проектным значениям. Для оценки ЛНС тальк-карбонатных пород необходим дополнительный учет их пластических свойств. Анализ деформационных характеристик исследуемых пород на примере модуля упругости, рассчитанного по трем методикам (ASTM D70212-10, DIN EN 14580, ГОСТ 28985-91) показал разброс значений в пределах 25%, что подтверждает необходимость проведения работ по дальнейшим исследованиям с целью установления границ линейного участка графика «напряжение - деформации» с использованием статистического анализа данных (рисунок 18).

О процедуре расчёта параметров буровзрывных работ, основанной на экспресс-оценке параметров дробимости пород массива. / А.П. Русских, С.В. Корнилков, А.Н. Авдеев, Т.Ф. Харисов. // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2023. – № 4. – С. 496-505.

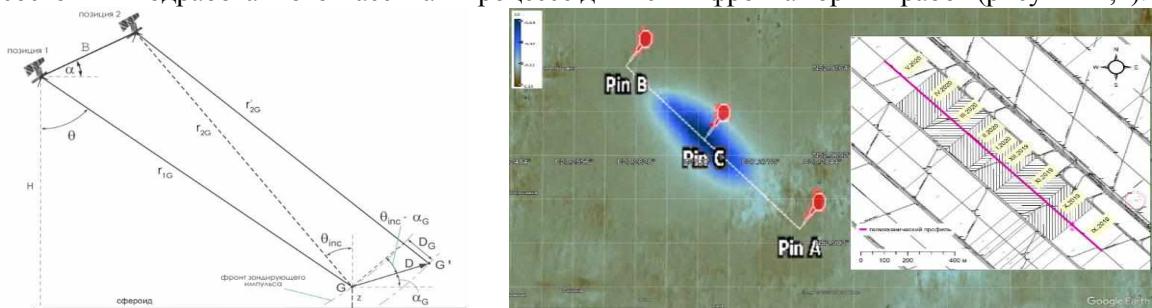


**Рисунок 18 – Отношение между пределом прочности в образце  $\sigma_{ск}$  и величиной отсюка молотка Шмидта  $H_r$**

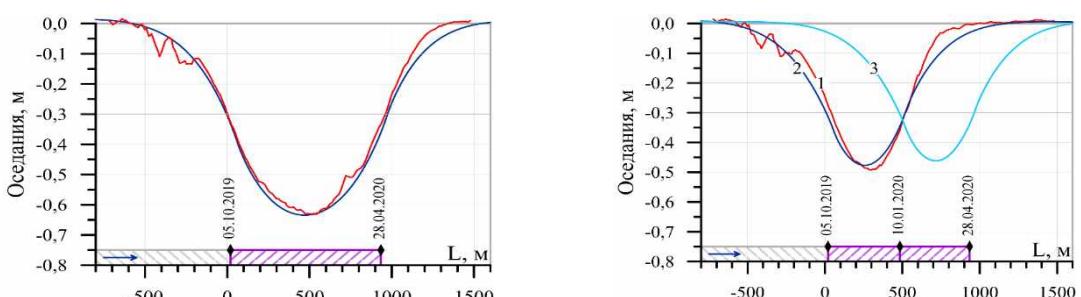
## 2.9. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ПЕРМСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ УрО РАН

### Система площадного мониторинга оседаний земной поверхности под влиянием движущегося очистного забоя

Система основана на методах РСА-интерферометрии и сопровождающем геомеханическом моделировании, совместная реализация которых позволяет восстанавливать оседания в периоды сезонного отсутствия данных космической радарной съемки, а также прогнозировать развитие сдвижения земной поверхности и изменение напряженно-деформированного состояния подработанного массива в процессе движения фронта горных работ (рисунки 1,2).



**Рисунок. 1 - Геометрия интерферометрической съемки (а), динамика отработки лавы и карта суммарных оседаний земной поверхности за 7 месяцев (б)**



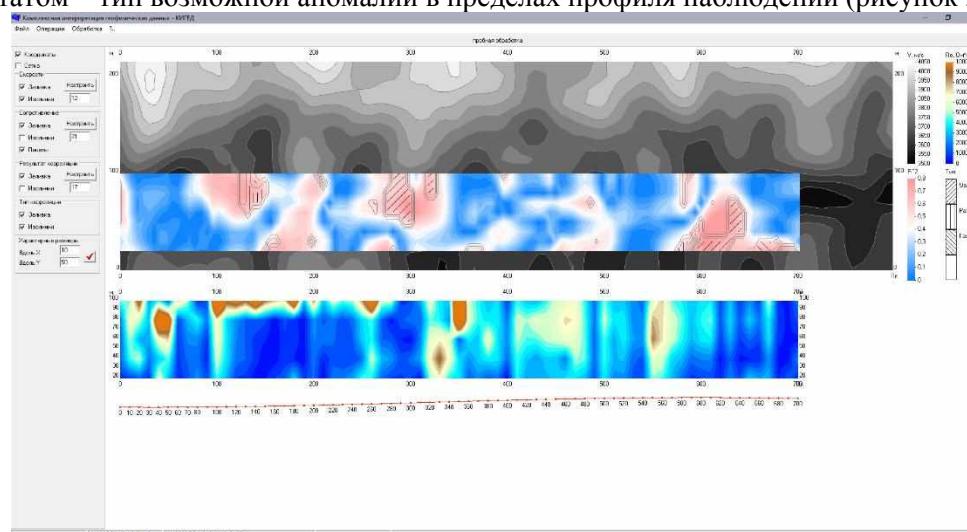
**Рисунок 2 - Сопоставление данных радарной съемки с результатами моделирования и иллюстрация прогноза оседаний земной поверхности**

Baryakh A.A., Devyatkov S.Yu., Denkevich E.T. Mathematical modelling of displacement during the potash ores mining by longwall faces // Journal of Mining Institute. – 2023. – Vol. 259. – P. 13-20. DOI 10.31897/PMI.2023.11

Барях А.А., Девятков С.Ю., Денкевич Э.Т., Михайлов В.О., Тимошина Е.П. Геомеханическое сопровождение спутникового радарного мониторинга оседаний подработанных территорий. // Горный журнал. – 2023. – № 8. – С. 40-49.

## **Технология совместной интерпретации результатов сейсмо- и электроразведочных наблюдений в горных выработках, направленная на формирование интерпретационных заключений о природе локальных аномалий контролируемых параметров**

Установлено согласованное изменение электрических и упругих свойств для ряда типовых локальных физико-геологических неоднородностей: 1) разуплотнение, 2) увлажнение, 3) газонасыщение. Анализ проведенных ранее исследований позволил разработать алгоритм выявления каждого типа аномалий по соотношению измеряемых скоростей распространения упругих волн и электрического сопротивления пород в окрестности горных выработок. Алгоритм распознавания основан на результатах измерений в некоторых известных аномальных зонах в пределах шахтных полей Верхнекамского и Гремячинского месторождений калийных солей. Технология реализована в виде отдельного программного модуля, исходными данными которого являются соответствующие геофизические данные, а результатом – тип возможной аномалии в пределах профиля наблюдений (рисунок 3).

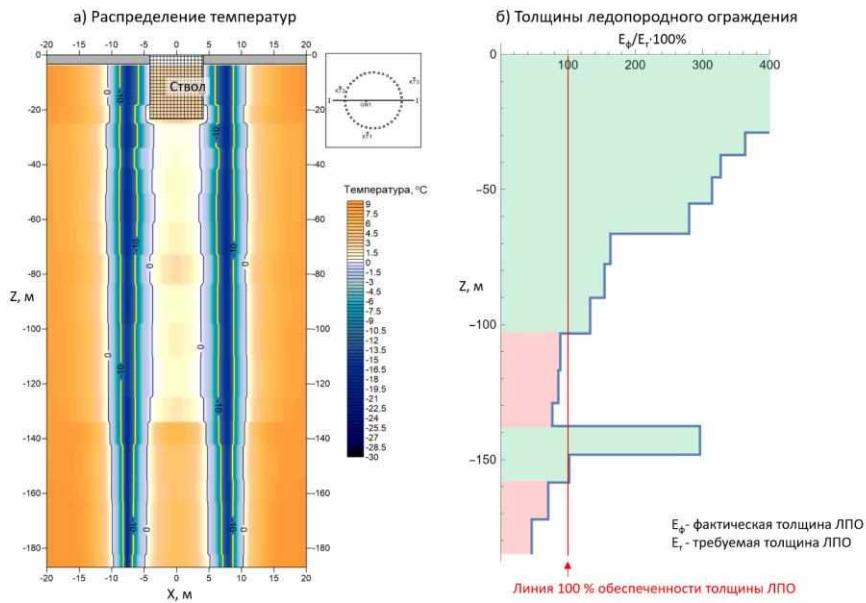


**Рисунок 3 - Общий вид разработанной программы. Показаны исходные данные о скоростях и сопротивлении и профиль выработки. Разным типам вероятных нарушений соответствуют разные штриховки результирующей цветовой карты, цвет отражает вероятностную характеристику наличия аномалии**

**Тарантин М.В., Санфиров И.А., Степанов Ю.А., Кузнецов И.Л.** Программное обеспечение комплексной интерпретации шахтных сейсмо- и электроразведочных исследований. // Тезисы докладов 19-й международной научно-практической конференции «Инженерная и рудная геофизика–2023». – 2023. / В книге: Инженерная и рудная геофизика 2023. Материалы 19-й научно-практической конференции и выставки. - Санкт-Петербург, - 2023 // ISBN: 978-5-9651-1472-6

### **Разработаны и реализованы принципы замораживания «по требованию» при строительстве стволов Дарасинского рудника**

Основным результатом проведенного исследования является проработка ранее введенной концепции замораживания «по требованию», направленной на повышение энергоэффективности работы замораживающей станции на этапах формирования и поддержания ледопородного ограждения. Сформулированы и обоснованы два новых принципа замораживания «по требованию», касающиеся дифференцированного рассмотрения интервала замораживания пород, а также комплексной минимизации затрат на работу системы замораживания и горнопроходческие работы в интервале замораживания. Введены три стратегии замораживания «по требованию», ранжированные по увеличению сложности: мониторинг, дистанционное управление, реагирование на события, реализованные при строительстве шахтных стволов калийных рудников (рисунок 4).



**Рисунок 4 - Пример реализации поинтервального разрешения проходческих работ: по истечении пяти месяцев с момента начала замораживания стволов пройден на глубину 21 м (а), при этом требуемая толщина ЛПО достигнута только до глубины 100 м (б)**

**Головатый И.И., Левин Л.Ю., Семин М.А., Пугин А.В.** Реализация принципов замораживания «по требованию» при строительстве стволов Дарасинского рудника. // Горный журнал. – 2023. – № 8. – С. 34-39. (Scopus Q3)

**Semin M., Golovatyi I., Levin L., Pugin A.** Enhancing efficiency in the control of artificial ground freezing for shaft construction: A case study of the Darasinsky potash mine // Cleaner Engineering and Technology. – 2023. – Т. 18. – Статья № 100710. (Scopus Q1)

#### **Модель для расчета распределения микроклиматических параметров в длинном очистном забое калийного рудника**

Разработана математическая модель, позволяющая рассчитывать распределение микроклиматических параметров воздуха в длинном очистном забое при наличии нестационарного теплообмена между воздухом и протяженным источником тепловыделения (горная техника). В модели впервые учтена конечная теплоемкость горной техники, предложено уравнение для расчета временной динамики температуры ее поверхности в различные смены. Анализ результатов моделирования при заданных режимах работы горного оборудования позволил разработать эффективные мероприятия по снижению влияния неблагоприятного микроклимата на здоровье горнорабочих.

**Zaitsev A., Shalimov A., Borodavkin D.** Unsteady Coupled Heat Transfer in the Air and Surrounding Rock Mass for Mine Excavations with Distributed Heat Sources // Fluids. – 2023. – Т. 8. – №. 2. – статья № 67. (Scopus Q2, УБС 2)

#### **Обоснование и реализация математической модели для прогноза состояния горных выработок в сложных условиях глубоких калийных рудников**

Особенность поддержания горных выработок в условиях глубоких рудников заключается в том, что уже в момент проходки выработок во вмещающих породах образуются обширные зоны запредельного деформирования, а ползучесть соляных пород приобретает незатухающий во времени характер.

На основе обобщения многолетних результатов натурных наблюдений, данных лабораторных исследований физико-механических свойств пород разработана и реализована математическая модель, которая отражает поведение техногенно-нарушенного солесодержащего породного массива на глубинах выше 1000 м.

Модель используется для определения безопасных параметров ведения горных работ при отработке запасов калийных месторождений в условиях больших глубин.

**Морозов И.А., Токсаров В.Н., Поляков И.В., Паньков И.Л.** Проявления горного давления в условиях глубокого калийного рудника. // Горный журнал. – 2023. – № 11. – С. 15-20.

**На территории Пермского края выявлена зона с аномально высокой природной сейсмической активностью, определены ее географические границы и основные параметры сейсмического режима**

Учет сейсмической активности платформенных территорий критически важен как для корректной оценки сейсмической опасности, так и для уверенного выявления техногенной сейсмичности. На территории Пермского края выявлена зона с аномально высоким уровнем природной сейсмической активности. Ее линейные размеры составляют около 30 км, и ежегодно в ее пределах регистрируется до 20-30 микроземлетрясений с магнитудой  $M_L \geq 1,5$ . Подобный уровень сейсмической активности возможно связан с активным тектоническим разломом и является уникальным для Уральского региона и всей Восточно-Европейской платформы. На основании статистического анализа сейсмического каталога установлено, что угол наклона графика повторяемости  $b$  близок к 1, что характерно скорее для зон коллизии тектонических плит, а не для внутриплитной сейсмичности, для которой типичные значения  $b=0,5 \dots 0,7$ .

**Редкий минерал рапидкрикит найден и описан на территории России в карстовой полости Малая Нижнеудинская пещера в Восточной Сибири**

Пещера Малая Нижнеудинская в Восточной Сибири приурочена к многолетнемерзлым породам. В пещере круглогодично держится околонулевая температура, в результате чего в подземной полости широко развиты ледяные образования. При замерзании растворов и последующем частичном испарении льда формируется криогенный остаток, сложенный гипсом, кальцитом и редким минералом рапидкрикитом  $\text{Ca}_2(\text{SO}_4)(\text{CO}_3) \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ . Рапидкрикит образует радиально-лучистые сростки игольчатых кристаллов длиной до 200 микронов. Источником серы, по нашему мнению, являются локально развитые прослои гипса в перекрывающих известняки некарстующихся породах.

**Базарова Е.П., Кадебская О.И., Рубцова М.Н., Коротченкова О.В., Кононов А.М**  
Криогенный рапидкрикит из Малой Нижнеудинской пещеры (Восточная Сибирь). // Криосфера Земли. – 2023. - Т. 27. - №3. - С. 3-14.

**Установлена эволюция химического состава и формы нахождения газов в соляных толщах Верхнекамского (Россия) и Старобинского (Беларусь) месторождений, осложняющих разработку калийных солей**

Электронно-микроскопическими исследованиями выявлены три морфологические группы газово-жидких включений в солях. Первичные захватывались внутри и на границах зерен. Вторичные формировались при частичной перекристаллизации и деформации солей. Эпигенетические, связываемые с миграцией, в том числе недосыщенных рассолов, представлены щелевидными каналами с коррозионно-регенерированной поверхностью стен. Использование хроматографии позволило установить четыре генетических группы газов: седиментационные, связанные с захватом растворенного в рапе солеродного бассейна атмосферного газа (азот с примесью диагенетического метана); катагенетические, обусловленные термогенным преобразованием захороненного органического вещества (метан и его гомологи); радиогенные, образующиеся при радиолизе воды (водород); глубинные подсолевые (углекислый газ). Различие механизмов их образования привело к тому, что первые и последние захватываются соляными минералами в виде первичных и вторичных включений (связанных газов), а радиогенные и катагенетические локализуются преимущественно в виде свободных газов.

**Андрейко С.С. Чайковский И.И., Гетманов В.Н., Чаянов А.Б.** Исследование форм полостей и локализации газово-жидких включений в соляных породах Старобинского месторождения калийных солей. // Горный журнал. - №8. - 2023. - С. 18-24. DOI: 10.17580/gzh.2023.08.02.

**Чайковский И.И., Иванов О.В., Бубнова М.В., Федоров Т.В.** О природе, составе и газоносности эпигенетической минерализации в соляной толще Верхнекамского месторождения (на примере Усольского рудника). // Литосфера. – 2023. - Т. 23. - №1. - С. 117–132. DOI: 10.24930/1681-9004-2023-23-1-117-132.

**Чайковский И.И., Иванов О.В., Папулов А.С.** Состав и природа связанных и свободных газов Верхнекамского месторождения солей. // Горный журнал. - 2023. - №11. - С. 108-112. DOI: 10.17580/gzh.2023.11.19.

#### **Установлено влияние гидродинамических факторов на формирование вертикальной неоднородности водных масс в водохранилищах в зонах активного техногенеза и устойчивость функционирования систем технического водоснабжения**

Выявлена причина повышения минерализации на технических водозаборах г. Березники в летнее время. Найдено, что в летнее время, в периоды уменьшения скорости течения в Камском водохранилище, вследствие фильтрационных разгрузок высокоминерализованных рассолов, имеющих достаточно сложный генезис, может формироваться значительная вертикальная неоднородность водных масс, существенно влияющая на устойчивость технического водоснабжения. Разработаны рекомендации для обеспечения устойчивого водопользования в существующих условиях.

**Любимова Т. П., Лепихин А. П., Паршакова Я. Н., Богомолов А. В., Ляхин Ю. С., Исахов А.** Особенности гидродинамики водоемов с вертикальной плотностной неоднородностью водных масс в условиях активного техногенеза. // Вычислительная механика сплошных сред. – 2023. - Т. 16. - №1. – С. 115–124. DOI: 10.7242/1999-6691/2023.16.1.9

#### **Методика обработки и интерпретации гравиметрических данных в условиях расчлененного рельефа местности**

При интерпретации гравиметрических наблюдений в условиях горного рельефа трансформации поля, разделение его на составляющие и выделение локальных аномалий, осуществляется с данными, пересчитанными на горизонтальную плоскость. Для количественной интерпретации и построения геолого-геофизических моделей среды необходимо использовать результаты, полученные на рельефе, а сам рельеф включать в исходную геологическую модель.

**Бычков С.Г., Симанов А.А., Хохлова В.В.** Особенности обработки и интерпретации гравиметрических данных в условиях расчлененного рельефа. // Геофизика, 2023, №5, С. 45-48.

#### **Разработана технология химической дактилоскопии состава аквабитумоидов, позволяющая проводить идентификацию нефтяных соединений в гидросфере**

Установлено, что водорастворенная органика приповерхностной гидросферы характеризуется сложным многокомпонентным составом, в формировании которого значительную роль играет природная органика, связанная с разложением растительного и белкового материала. Это затрудняет выявление признаков нефтяного загрязнения гидросферы и проведение идентификации его источников. Проведенные исследования показали, что спектрально-хроматографическое профилирование (ГХ-МС) состава аквабитумоидов позволяет распознавать геохимические маркеры, характерные для различных этапов трансформации нефтяной органики. В отличие от технологии фингерпринтинга, применяемой за рубежом в рамках экологической криминалистики, в качестве геохимических маркеров используются не только углеводородные соединения, но и устойчиво-мобильные полигетерогенные (кислород-, серу-, азотсодержащие) комплексы, что позволяет выявлять признаки «старого» нефтяного загрязнения гидросферы.

**Бачурин Б.А.** Трансформация органического фона гидросферы в условиях нефтяного загрязнения. // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Науч. чтения памяти П.Н. Чирвинского: сборник научных статей. - Пермь. ПГНИУ. – 2023. – Вып. 26. - С. 12-19. DOI: 10.17072/chirvinsky.2023.12

**Токсарова Ю.С.** Обнаружение и идентификация органических соединений в сложной многокомпонентной матрице хлороформенного битумоида в ходе газохроматографического

анализа с масс-спектрометрическим детектированием. // Горное эхо. – 2023. - №2(91). - С. 14-19. DOI:10.7242/echo.2023.2.3.

### **Электрометрическая технология контроля защитного покрытия на полигонах хранения жидких отходов химического производства**

Технология основана на принципах известного метода электротомографии, по результатам которого основными признаками выявления зон возможных нарушений геомембранны являются следующие критерии: резкое расхождение значений кажущихся сопротивлений (КС) прямой и встречной установок; наличие пересечения графиков прямой и встречной установок (КЭП), указывающих на наличие проводящих зон (в данном случае возможное наличие нарушения в пленке); аномально низкие значения сопротивлений на геоэлектрическом разрезе.

### **2.10. ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ - ОБОСОБЛЕННОЕ ПОДРАЗДЕЛЕНИЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ФЕДЕРАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЦЕНТРА «КОЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»**

В 2023 году Горный институт КНЦ РАН продолжил научные исследования в следующих направлениях: *Развитие методологии рационального и экологически сбалансированного недропользования при освоении минерально-сырьевых ресурсов Северо-Запада Арктической зоны Российской Федерации; Развитие научных основ обеспечения геомеханической безопасности природно-технических систем горнодобывающей отрасли; Создание ресурсосберегающих технологий переработки природного и техногенного минерального сырья; Разработка цифровых технологий и информационных систем для решения задач горно-обогатительного производства.*

Исследования выполнялись по 5 темам НИР в соответствии с государственным заданием.

Наиболее значимые полученные результаты распределены по отраслям знаний:

#### **Геотехнология**

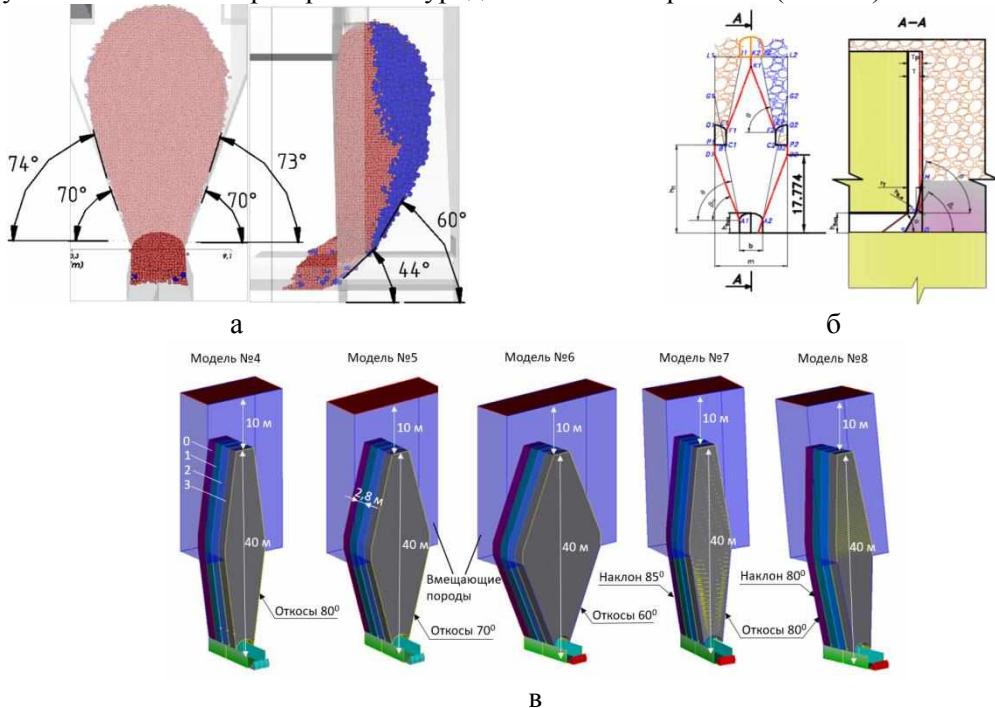
Разработаны методические основы оперативного анализа и учёта геомеханических и технологических характеристик вмещающего массива горных пород при проектировании объектов подземной геотехнологии, предназначенные для автоматизированного принятия технологических решений в инструментах проектирования и планирования подземных горных работ (рисунок 1). Методика основана на дискретном анализе взаимного пространственного расположения моделей технологического объекта, геологической среды с ее геомеханическими характеристиками, близлежащих природных и техногенных объектов.



**Рисунок 1 – Анализ геомеханических и технологических характеристик вмещающего массива горных пород при проектировании объектов подземной геотехнологии**

Разработана «Инструкция по учёту состояния и движения запасов, определению, планированию и нормированию количественных и качественных потерь апатит-нефелиновой

руды на рудниках АО «Апатит», учитывающая изменения нормативной базы, горно-геологических и горнотехнических условий разработки месторождений Хибинского массива, а также отвечающая современным технологиям ведения горных работ (рисунок 2). В инструкции уточнены основные понятия и определения горной терминологии, классификации потерь и разубоживания апатит-нефелиновой руды, разработаны новые алгоритмы, схемы нормирования эксплуатационных потерь и разубоживания отбитой руды в процессе выпуска из очистного пространства буродоставочной выработки (панели).



**Рисунок 2 – Измерение углов формирующей фигуры выпуска в численной модели (а), схема формирования потерь руды при выпуске (б), модели для исследования влияния параметров конструктивных элементов на показатели извлечения при выпуске (в)**

Выполнен инвестиционный анализ комплексной переработки апатит-нефелиновых руд месторождения «Олений ручей», включающий маркетинговые исследования рынка сбыта редкоземельной продукции и попутных концентратов. На основе сценарного моделирования показано, что в настоящее время производство из руды АО «СЗФК» редкоземельных элементов, нефелинового, эгиринового, сфернового и титаномагнетитового концентратов экономически нецелесообразно.

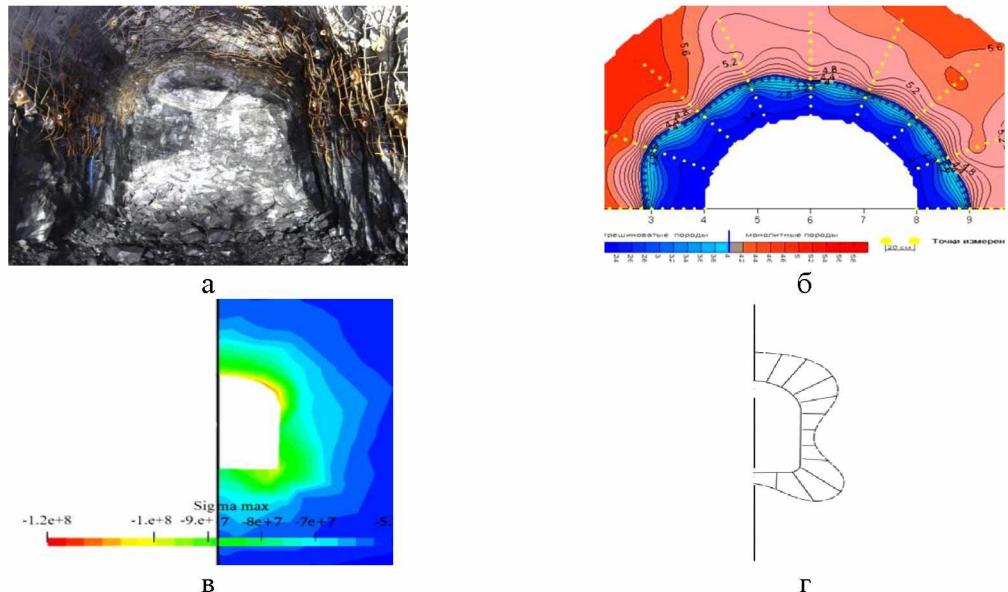
### Геомеханика

По результатам серии натурных исследований в окрестности выработок, пройденных в прочных скальных породах Октябрьского месторождения Норильского рудного узла на уникальных для Евразийского континента глубинах около 2 км, установлено изотропное скоростное поле и равномерное разрушение приконтурного массива, что свидетельствует о сопоставимом уровне тектонической и гравитационной составляющих поля напряжений (рисунок 3). Результатами численного моделирования и аналитическими расчетами подтверждена выдвинутая гипотеза о близком к гидростатическому типу естественного поля напряжений.

На основе анализа результатов многолетнего радарного мониторинга процесса деформирования прибортового массива горных пород выявлены три вида потери устойчивости:

- оползни-обрушения в слабых породах верхней части бортов карьеров;
- обрушения в скальных сильнотрещиноватых породах средней прочности;
- обрушения в скальных малотрещиноватых прочных породах.

Предложенная классификация случаев потери устойчивости участков бортов крупных рудных карьеров отличается выявлением типичных групп обрушений на основе критерия - рост скорости смещения массива.

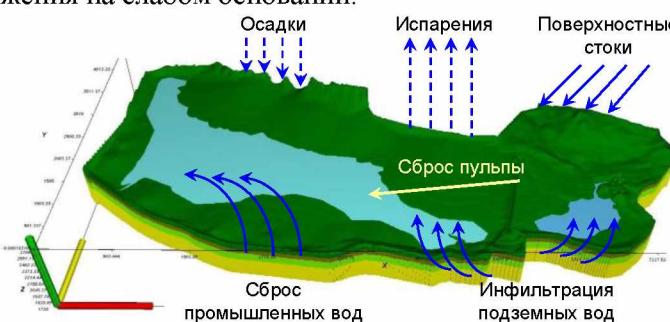


**Рисунок 3 – Фото разведочной выработки (а), скоростная модель приконтурного массива пород, ультразвуковой метод (б), распределение напряжений по данным 3D моделирования (в) и по данным аналитических расчетов (г)**

Сравнительный анализ результатов массовых испытаний скальных горных пород Кольского региона в условиях среза со сжатием показал, что в образцах, содержащих естественные плоскости структурных ослаблений (трещины), сцепление и угол внутреннего трения в среднем меньше в 80 и 1,7 раза соответственно, чем значения этих параметров для ненарушенных образцов горных пород, что позволяет выполнять экспресс оценку сдвиговых характеристик массивов трещиноватых скальных пород.

По результатам исследований образцов скальных горных пород в условиях одноосного напряженного состояния установлено влияние скорости нагружения на характер их разрушения, что можно отнести к одному из факторов, определяющих удароопасность пород. Экспериментально показано, что с увеличением скорости нагружения от 0,01 до 50 кН/с возрастает прочность пород и меняется характер их разрушения: для хрупких упругих пород возрастает интенсивность разрушения, а упруго-пластичные породы начинают разрушаться в динамической форме.

На основе инженерно-геологических, гидрологических, геофизических и геодезических исследований хвостохранилища АНОФ-3 КФ АО «Апатит» построена его цифровая гидрогеологическая 3D модель (рисунок 4). Модель позволяет путем численного моделирования выявлять наиболее характерные особенности изменения гидрогеологического режима хвостохранилища. На базе гидрогеологической модели разработана гидроэнергетическая 3D модель фрагмента хвостохранилища, включающего разделяющую дамбу, построенную на хвостовых отложениях с иловыми прослойками. Моделированием выявлены скачкообразные изменения фильтрационно-деформационных процессов, определяющие механическую и фильтрационную устойчивость дамбы как линейного насыпного грунтового сооружения на слабом основании.



**Рисунок 4 – Гидрогеологическая модель хвостохранилища АНОФ-3 КФ АО «Апатит» как открытой природно-технической системы**

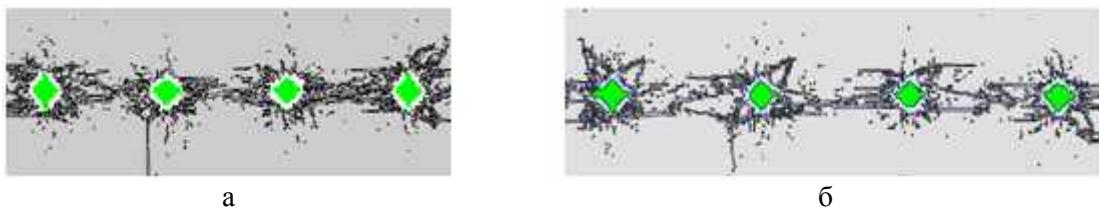
На основе 10-летнего цикла комплексных исследований и мониторинга гидрогеологического состояния хвостохранилища ОФ АО «Кольская ГМК» подтверждено, что хвостохранилище заполняется и эксплуатируется в соответствии с проектом и критериальными требованиями, вследствие чего опасные фильтрационно-деформационные процессы в ограждающих дамбах не формируются, а граничные условия соответствуют уравнениям Бернулли. Вместе с тем динамика гидрогеологического режима хвостохранилища не отвечает принципу суперпозиции, не аппроксимируется, как линейной, так и более сложными дифференциальными зависимостями, что позволяет говорить о хвостохранилище как открытой нелинейной гидротехнической системе, требующей постоянного контроля.

На основе анализа изменения плотности сейсмической энергии при переходе горных работ на глубокие горизонты (на примере апатит-нефелинового месторождения Апатитовый Цирк, Хибинский массив) проведена пространственно-временная оценка распределения сейсмической энергии по шахтному полю рудника по мере продвижения горных работ на глубину. Выявлены участки повышенного уровня площадного распределения плотности сейсмической энергии (более 400 Дж/м<sup>2</sup>), а также их миграция и динамика, связанные с зонами деформаций сжатия (участки, где ведутся интенсивные горные работы) и зонами деформаций растяжения (консольная часть массива горных пород).

На основе данных численного моделирования определены параметры трансформации техногенного поля напряжений Коашвинского месторождения в условиях действия в массиве тектонических сил. Выявлено местоположение зон критического сжатия и растяжения в прибортом массиве. Разработанная численная геомеханическая модель Коашвинского карьера является основой для прогнозных расчетов напряженно-деформированного состояния при развитии открытых горных работ. На основе автоматизированного геопространственного анализа данных мультиспектральных оптико-электронных спутниковых систем ESA Sentinel-2 L2a отработан методический подход по дистанционному площадному мониторингу состояния охраняемых природных водных ресурсов юго-восточной части Хибинского массива в зоне хранения промышленных отходов. Анализ данных за период 2017-2022 гг. позволил идентифицировать опасные объекты и возможные источники загрязнений окружающей среды.

### **Разрушение горных пород**

Разработана технология щадящей отбойки для постановки уступов в конечное положение при использовании кругонаклонных скважин большого диаметра (более 200 мм) для условий Восточного рудника КФ АО «Апатит», включающая: обоснование угла наклона откосов уступов и глубины отрезной щели, параметров расположения контурных зарядов и их конструкцию, порядок формирования отрезных щелей, параметры размещения вертикальных отбойных скважин в приконтурном блоке (рисунки 5, 6). Указанные рекомендации включены в «Регламент по обоснованию увеличения угла наклона борта Коашвинского карьера».



**Рисунок 5 – Результаты численного моделирования формирования отрезной щели при расстояниях между контурными скважинами диаметром 230 мм 2.5 м (а) и 3.0 м (б) при двойном шланговом заряде Senatell Powersplit диаметром 90 мм**

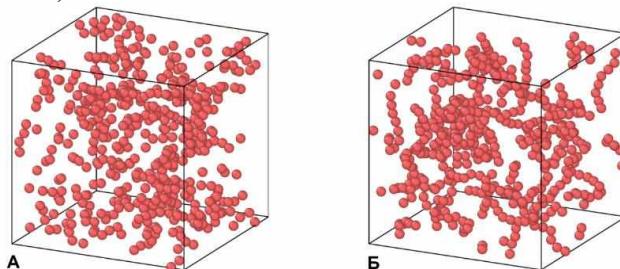


**Рисунок 6 – Вид уступов поставленных в конечное положение на опытно-промышленном участке**

На основе экспериментальных наблюдений за сейсмическим действием массовых взрывов в карьере рудника «Железный» установлено влияние грунтовых условий на частотный спектр колебаний. При расположении зданий на скальном основании колебания имеют высокочастотный характер и здания менее подвержены сейсмическому воздействию, а в зоне дезинтегрированных пород формируются низкочастотные колебания с частотами, близкими к собственной частоте зданий, что приводит к резонансному усилению колебаний. По результатам исследований определены допустимые скорости смещения для промышленных сооружений и жилых зданий города Ковдор с учетом возникновения резонансных явлений.

### Обогащение полезных ископаемых

Обоснован методический подход к прогнозированию агрегативной устойчивости и магнитных свойств суспензии минеральных частиц микронного и субмикронного размера, заключающийся в калибровке динамической компьютерной модели диполь-дипольного магнитного взаимодействия температурной зависимостью коэффициента трансляционной диффузии частиц магнетита и концентрационной зависимостью магнитной восприимчивости суспензии (рисунок 7).



**Рисунок 7 – Равновесное распределение в объеме модельных магнитных частиц размером 0.4 мкм (А) и 1 мкм (Б) при объемной доле 0.05, температура 298 К**

Показана возможность оценки кислотно-основного состояния поверхности минералов под влиянием компонентов флотационной пульпы методом измерения суспензионного эффекта, позволяющая прогнозировать технологические показатели процессов флотации, флокуляции и водоподготовки.

Обоснована целесообразность повышения значения модуля крупности от 2,5 до 20 при предконцентрации железистых кварцитов месторождений Северо-Западной части Арктической зоны России посредством магнитных методов, обеспечивающая сокращение рудоподготовительных операций без снижения эффективности разделения. При сепарации материала рудной массы широкого диапазона крупности (-25+0 мм, -80+0 мм, -200+80 мм) наблюдается преобладание случаев с отрицательными значениями разности извлечений  $\text{Fe}_{\text{общ}}$  в немагнитную фракцию при разделении материала исходной крупности и предварительно классифицированного.

На основе численного моделирования установлены закономерности сегрегации железорудного сырья по плотности и высоте винтового потока малой толщины:

- 1) увеличение содержания твердого в питании винтового аппарата обеспечивает повышение эффективности сегрегации;
- 2) уменьшение кривизны профиля поперечного сечения винтового желоба способствует интенсификации сегрегации мелких фракций минеральных частиц;
- 3) максимальные значения эффективности сегрегации достигаются после третьего витка аппарата.

На основе данных закономерностей, подтвержденных экспериментально, разработан метод количественной оценки сегрегации с использованием численной модели процесса винтовой сепарации и критерия Ханкока-Луйкена.

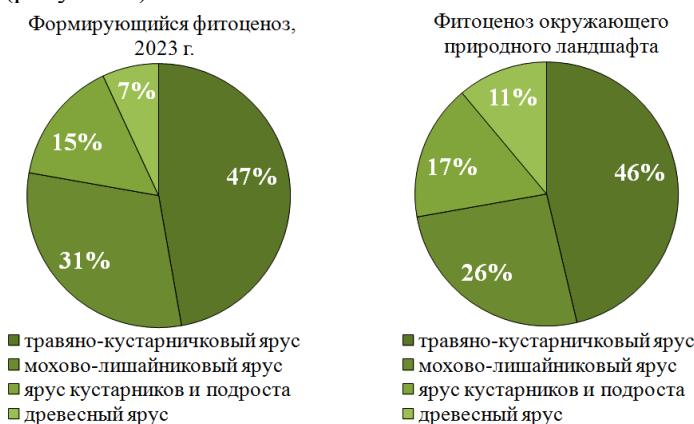
### Горная экология

Разработана компьютерная программа, реализующая на основе клиент-серверной архитектуры доступ через сеть Интернет к данным Системы мониторинга состояния природных экосистем, нарушенных в ходе освоения георесурсов, при экоинвестиционном подходе к их восстановлению. Приложение имеет модульную структуру, что позволяет внедрять алго-

ритмы получения, обработки и анализа данных мониторинга в качестве микросервисов, интегрируя их в единое информационное пространство Системы мониторинга.

Разработан методический подход к оценке потенциала восстановления природных экосистем, нарушенных при освоении георесурсов, позволяющий по данным спутниковых наблюдений в видимой, инфракрасной и тепловой областях спектра на основе биотических и абиотических факторов выполнять оценку потенциала формирования фитоценоза при восстановлении природных экосистем.

Предложена методология экоинвестиционной оценки проектов по восстановлению природных экосистем, нарушенных при освоении георесурсов. На основе многолетних исследований выполнено геоботаническое описание лесного фитоценоза, формирующегося на откосах ограждающей дамбы складированных отходов рудообогащения Хибинской группы месторождений, что доказывает возможность быстрого формирования фитоценоза со структурой окружающего природного ландшафта и свидетельствует о восстановлении природных экосистем (рисунок 8).



**Рисунок 8 – Соотношение количества видов в фитоценозе, формирующемся на откосах ограждающей дамбы складированных отходов рудообогащения в ходе лесной стадии сукцессии сеянного без нанесения плодородного слоя злакового фитоценоза и в фитоценозе окружающего природного ландшафта**

## **2.11. ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОЛОГИИ СЕВЕРА – ОБОСОБЛЕННОЕ ПОДРАЗДЕЛЕНИЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ФЕДЕРАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЦЕНТРА «КОЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»**

Проект РНФ № 22-27-00159 «Эколого-геохимическая оценка загрязнения компонентов окружающей среды в зоне влияния хранилищ отходов обогащения редкометалльных руд» (Макаров Дмитрий Викторович, директор Института, доктор технических наук, ИППЭС КНЦ РАН)

### **1.5.7. Горные науки**

#### **1.5.7.2. Комплексная, технологически эффективная и экологически безопасная добыча, обогащение и глубокая переработка минерального сырья**

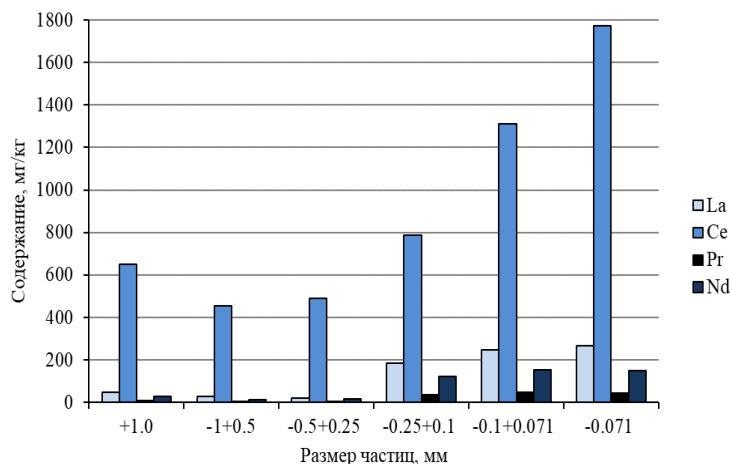
**Сущность результата:** Проведен отбор проб разновозрастных хвостов обогащения лопаритовых руд, грунтов, растений, поверхностных вод и донных отложений озер в Ловозерском районе. Определены инженерно-геологические характеристики и вещественный состав хвостов обогащения, установлено концентрирование редкоземельных элементов (РЗЭ), тяжелых металлов (ТМ) и радионуклидов в тонкодисперсном материале хвостов. Проведены эксперименты, моделирующие долгосрочное действие закисленных атмосферных осадков и взаимодействие почвенных растворов с хвостами обогащения. Изучены процессы гипергенных изменений и раскрыты закономерности мобилизации экологически опасных элементов из хвостов обогащения под действием атмосферных осадков и при попадании мелкодисперсных частиц в почву при пылении хвостов. В качестве технологических решений для снижения негативного воздействия редкометалльных хвостохранилищ

предложены: пылеподавление с применением полимерных связующих реагентов и создание противоэрозионных сеяных фитоценозов. (рисунки 1 и 2)

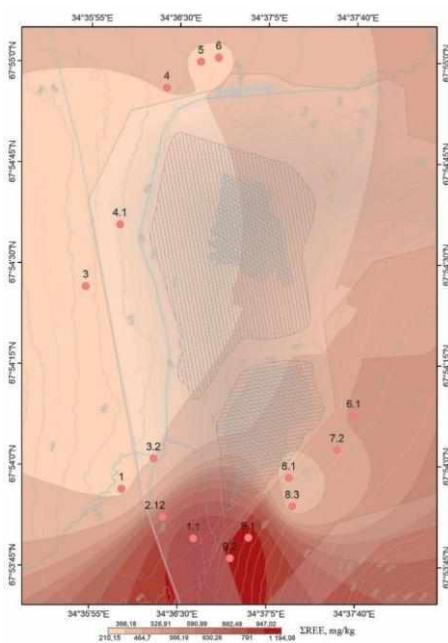
**Новизна:** Впервые проведена геэкологическая оценка влияния отходов обогащения лопаритовых руд на окружающую среду и предложены технологические решения для снижения негативного воздействия: пылеподавление с применением полимерных связующих реагентов и создание противоэрозионных фитоценозов на основе вермикулита и сорбентов с использованием металло-резистентного злака – овсяницы красной *Festucarubra* L.

**Значимость:** На основе исследований загрязнения компонентов окружающей среды, закономерностей гипергенных процессов, вклада в загрязнение золового переноса вещества и фильтрационного дренажа техногенных вод дана комплексная оценка экологической опасности хвостов обогащения лопаритовых руд и состояния прилегающих территорий. На основе анализа токсичности техногенного грунта, оценки его пригодности к биологической рекультивации предложены оптимальные способы пылеподавления и консервации/ремедиации редкометалльных хвостохранилищ с использованием местных нетрадиционных мелиорантов.

**Возможные сферы применения практического результата.** Полученные научные результаты могут быть использованы для непосредственного применения рассмотренных способов пылеподавления на предприятии (ООО «Ловозерский ГОК»), в качестве базиса для разработок способов переработки хвостов обогащения, методов рекультивации/консервации хвостохранилищ, а также в учебных программах вузов.



**Рисунок 1 – Содержание РЗЭ  
в материале хвостов  
обогащения в зависимости  
от размера частиц, мг/кг**



**Рисунок 2 – Схема распределения  
РЗЭ в почвах района исследования**

**Сведения об опубликовании:**

1. Горячев А.А., Красавцева Е.А., Лашук В.В., Икконен П.В., Смирнов А.А., Максимова В.В., Макаров Д.В. Оценка экологической опасности и возможности переработки хвостов обогащения лопаритовых руд. // Экология и промышленность России. - 2020. - № 12. - Т. 24. - С. 46–51. DOI: 10.18412/1816-0395-2020-12-46-51 (Scopus)
2. Красавцева Е.А., Макаров Д.В., Светлов А.В. Исследование свойств связующих реагентов отечественного производства для снижения пыления хвостов обогащения. // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. - 2023. - № 3. - Т. 59 - С. 175-181. DOI: 10.15372/FTPRPI20230318 (WoS, Scopus)
3. Красавцева Е.А., Макаров Д.В., Селиванова Е.А., Максимова В.В., Светлов А.В. Мобилизация экологически опасных элементов из хвостов обогащения лопаритовых руд под действием атмосферных осадков. // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. - 2021. - № 3. - С. 69-78. DOI: 10.31857/S0869780921030036 (RCGI)
4. Красавцева Е.А., Максимова В.В., Маслобоев В.А., Макаров Д.В., Горбачева Т.Т. Моделирование взаимодействия тонкой фракции хвостов обогащения лопаритовых руд с почвенными водами. // Экология и промышленность России. - 2021. - № 4. - Т. 25. С. 28-33. DOI: 10.18412/1816-0395-2021-4-28-33 (Scopus)
5. Красавцева Е.А., Сандимиров С.С. Состояние водных объектов в зоне влияния горно-перерабатывающих предприятий на примере ООО «Ловозерский ГОК». // Вода и экология: проблемы и решения. - 2021. - № 2. - С. 3-13. DOI: 10.23968/2305-3488.2021.26.2.3-13 (Scopus)
6. Максимова В.В., Красавцева Е.А. Исследование влияния горнoprомышленных отходов мурманской области на рост и развитие высших растений. // Проблемы региональной экологии. - 2020. - № 4. - С. 21-26. DOI: 10.24411/1728-323X-2020-14021 (РИНЦ, ВАК)
7. Максимова В.В., Красавцева Е.А., Маслобоев В.А., Макаров Д.В. Исследование растворимости пылевых частиц в почвенном растворе при различных температурах (на примере хвостов обогащения лопаритовых руд). // Вестник Мурманского государственного технического университета. - 2021. - № 1. - Т. 24 - С. 107-117. DOI: 10.21443/1560-9278-2021-24-1-107-117 (РИНЦ, ВАК)
8. Krasavtseva E., Maksimova V., Makarov D. Conditions Affecting the Release of Heavy and Rare Earth Metals from the Mine Tailings Kola Subarctic. // Toxics. 2021. V. 9. 163. DOI: 10.3390/toxics9070163 (WoS, Scopus)
9. Krasavtseva E., Maksimova V., Makarov D., Potorochin E. Modelling of the chemical halo of dust pollution migration in loparite ore tailings storage facilities. // Minerals. 2021. V. 11(10). P. 1077. DOI: 10.3390/min11101077 (WoS, Scopus)
10. Krasavtseva E., Maksimova V., Slukovskaya M., Ivanova T., Mosendz I., Elizarova I. Accumulation and Translocation of Rare Trace Elements in Plants near the Rare Metal Enterprise in the Subarctic. // Toxics. 2023. V. 11. 898. DOI: 10.3390/toxics11110898 (WoS, Scopus)
11. Krasavtseva E., Sandimirov S., Elizarova I., Makarov D. Assessment of Trace and Rare Earth Elements Pollution in Water Bodies in the Area of Rare Metal Enterprise Influence: A Case Study-Kola Subarctic. // Water. 2022. V. 14. 3406. DOI: 10.3390/w14213406 (WoS, Scopus)
12. Krasavtseva E.A., Maksimova V., Makarov D. Influence of Reagents on Qualitative Indicators of Artificial Anti-Deflationary Phytocenosis on Waste from a Rare Earth Tailing Facility. // Toxics. 2023. V.11. 629. DOI: 10.3390/toxics11070629 (WoS, Scopus)
13. Krasavtseva E.A., Makarov D.V., Maksimova V.V., Selivanova E.A., Ikkonen P.V. Studies of Properties and Composition of Loparite Ore Mill Tailings. // Journal of Mining Science. 2021. V. 57. No. 3. P. 531–538. DOI: 10.1134/S1062739121030182 (WoS, Scopus)
14. Maksimova V.V., Krasavtseva E.A., Savchenko Y.E., Ikkonen P.V., Elizarova I. R., Maslобоев V.A., Makarov D.V. Study of the composition and properties of the beneficiation tailings of currently produced loparite ores. // Journal of Mining Institute. 2022. V. 256. P. 642–650. DOI: 10.31897/PMI.2022.88 (Scopus)

**15. Mazukhina S., Krasavtseva E., Makarov D., Maksimova V.** Thermodynamic modeling of hypergene processes in loparite ore concentration tailings. // Minerals. 2021. V. 11(9). P. 996.DOI: 10.3390/min11090996 (WoS, Scopus)

**16. Krasavtseva E.A., Maksimova V.V., Elizarova I.R., Malysheva M.B.** Assessment of Soil Pollution by Rare Earth Elements in the Area Affected by the Rare Metal Plant in Russia. // Eurasian Soil Sciense. 2023. V. 56. Suppl. 2. P. S194–S201.DOI: 10.1134/S1064229323601403 (WoS, Scopus)

#### **1.5.7.4. Изучение и моделирование горнотехнических систем и процессов техногенного преобразования недр**

Разработана аэротермодинамическая модель микроклимата атмосферы, учитывающая механизмы конвекции (плавучести) и фоновой стратификации и апробированная при исследовании процессов пыления хвостохранилищ и проветривания карьеров при проведении взрывных работ для различных состояний атмосферы. Продемонстрирована асимметричность (относительно сухо- и влажноадиабатического градиента температуры) величины вертикального потока массы по сравнению с неустойчивым и инверсионным состояниями атмосферы. (ИППЭС КНЦ РАН, 1.5.7.4.)

#### **АНОТАЦИЯ**

Обоснована необходимость усовершенствования CFD-моделей, используемых для прогноза загрязнения атмосферы при пылении хвостохранилищ и других объектов горнодобывающей промышленности (в том числе карьеров). В качестве направления совершенствования моделей при использовании неспециализированного кода COMSOL выбран подход, применяемый при решении задач охраны окружающей среды Марчуком Г.И., Пененко В.В. и др.

Описаны необходимые дополнения к программной среде COMSOL с целью учета в модели механизмов конвекции (плавучести) и параметра фоновой стратификации, обеспечивающих расчет аэротермодинамики атмосферы при различных ее состояниях.

Создана (в двухмерном варианте) аэротермодинамическая модель микроклимата атмосферы, учитывающая механизмы конвекции (плавучести) и фоновой стратификации, и апробированная на упрощенной модели хвостохранилища. При фиксированной скорости ветрового потока выполнены численные эксперименты и проанализированы аэродинамические параметры потоков, пространственные распределения отклонений потенциальной температуры в объеме модели; выполнены расчеты динамической скорости на высотах пыления и вертикального потока массы (рисунок 3) посредством зависимости Westphal et al.

Продемонстрирована аналитическая зависимость прогноза вертикального потока массы от величины параметра стратификации; показана асимметричность (относительно сухо- и влажноадиабатического градиента температуры) величины вертикального потока массы по сравнению с неустойчивым и инверсионным состояниями.

Построена и апробирована двухмерная CFD-модель атмосферы карьера, который при проведении массовых взрывов проветривается по рециркуляционной схеме. Выполнены численные эксперименты процессов естественного проветривания карьера для скоростей ветрового потока на верхнем борту карьера, равных 1 и 2 м/с, при вариации параметра фоновой стратификации (от 0,0 до +0,05°C/m) и фиксированном начальном местоположении пылегазового облака.

Отмечены существенные различия в аэротермодинамических параметрах потоков и пространственном распределении отклонений потенциальной температуры при разных условиях состояния атмосферы. Спрогнозировано отсутствие смещения месторасположения наиболее загрязненной области карьера при сильной инверсии. Отмечено смещение этой области в сторону подветренного борта карьера при малых значениях параметра фоновой стратификации (рисунок 4). Показано существенное увеличение времени естественного проветривания карьера при усилении инверсионного состояния атмосферы по сравнению с ее нейтральным состоянием (рисунок 5). При этом снижается уровень загрязнения, выносимого на верхний борт карьера вниз по потоку.

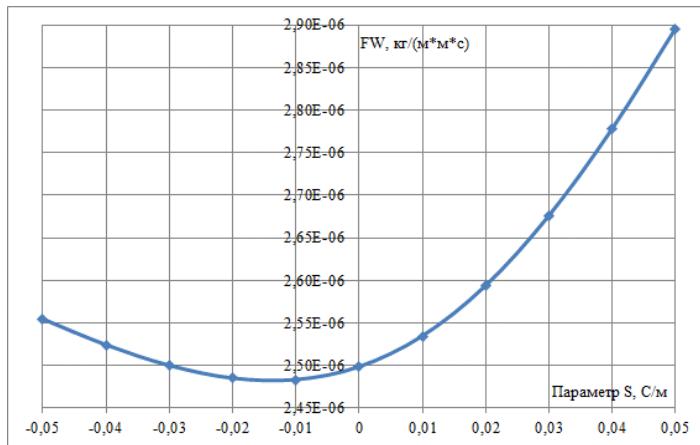


Рисунок 3 – Распределение вертикального потока массы посредством зависимости Westphal et al. при вариации параметра стратификации

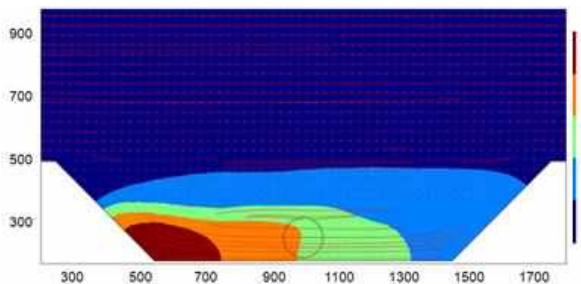


Рисунок 4 – Пример пространственного распределения загрязнения по объему карьера ( $S=0,005$  С/м;  $H=300$  м)

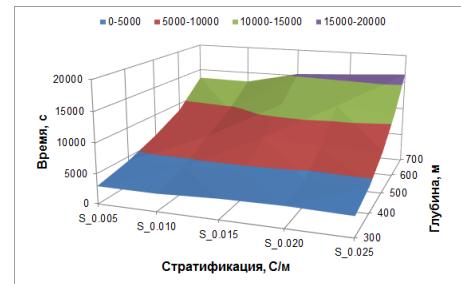


Рисунок 5 – Поверхность функции времени максимального загрязнения атмосферы на верхнем борту карьера

Представляется необходимым осуществить усовершенствование объемных авторских моделей и исследовать загрязнение атмосферы при вариации скорости ветрового потока в различных условиях состояния атмосферы.

Весьма интересным в научном плане является применение подобной модели к задаче проветривания карьеров при эксплуатации оборудования с ДВС в условиях инверсионного состояния атмосферы. (Научный руководитель: д.т.н. Макаров Д.В., тел. (81555) 79-594; отв. исполнитель: к.т.н. Амосов П.В.)

#### Сведения об опубликовании:

1. Амосов П.В., Бакланов А.А. Разработка модели аэротермодинамики атмосферы для исследования процессов пыления на хвостохранилищах с использованием программы COMSOL // Вестник МГТУ. - 2023. - № 1. - Т. 26. - С. 25–44. DOI: 10.21443/1560-9278-2023-26-1-25-44 (РИНЦ, ВАК)

2. Амосов П.В. Исследование влияния параметра фоновой стратификации на время естественного проветривания карьера на базе численного моделирования // Известия вузов. Горный журнал. - 2023. - № 5. - С. 90-101. DOI: 10.21440/0536-1028-2023-5-90-101 (РИНЦ, ВАК)

## 2.12. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ВСЕРОССИЙСКИЙ ИНСТИТУТ НАУЧНОЙ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ РАН

### Сжиженный природный газ (СПГ) – драйвер развития Российской Арктики

В 2022 году поставки природного газа и нефти России в Европу практически прекратились. Европа в 2022 году заполнила свои газохранилища без российского газа. Россия вынуждена перенаправить экспорт газа и нефти в Азиатско-Тихоокеанский регион. Но газопровод «Сила Сибири», проложенный в Китай не компенсирует утраченные позиции,

а проект газопровода «Сила Сибири -2» через Монголию под большим вопросом. Но открытые на Ямале гигантские месторождения газа позволили России переориентироваться на производство сжиженного природного газа (СПГ). Кроме действующего в ЯНАО завода ПАО Новатэк Ямал-СПГ, на полуострове Гыдан реализуются еще два проекта Новатэк Арктик-СПГ 1 и Арктик СПГ 2.

Во всем мире ширятся масштабы производства и потребления сжиженного природного газа. Это связано с преимуществом его доставки по сравнению с трубопроводным транспортом, автономному использованию в труднодоступных местах, а также общемировой тенденции к уменьшению парникового эффекта за счет замены газом нефтепродуктов и угля. Российская Арктика является настоящим кладезем минерально-сырьевых ресурсов, основой которых являются, прежде всего, нефть и газ. По современным оценкам, углеводородные запасы в регионе составляют 90 млрд. баррелей нефти, 73 трлн. м<sup>3</sup> природного газа, 44 млрд. баррелей газового конденсата. Только на полуострове Ямал разведаны 52 газовых месторождения, суммарные запасы которых составляют 26,5 трлн. м<sup>3</sup> газа, 1,6 млрд. т газового конденсата и 300 млн.т нефти. Наиболее эффективна доставка газа из этого региона в сжиженном виде, для чего в Арктике реализуется ряд проектов по производству СПГ, поставки которого производятся по Северному морскому пути. Таким образом, СПГ является драйвером развития Российской Арктики и не только

Рынок сжиженного природного газа (СПГ) становится все более перспективным направлением развития современной энергетики в области энергоресурсов. Природный газ в жидкоком состоянии занимает значительно меньший объем, чем в газообразном состоянии, что определяет возможность доставки СПГ в любую точку мира и делает его более ликвидным, чем газ, поставляемый по трубопроводам.

Сдерживающим фактором для поставок природного газа в некоторые страны являются транспортные проблемы. Необходимость строительства весьма протяженных магистральных газопроводов требует решения финансовых, технических и политических задач. Поэтому вполне обоснованной является необходимость создания системы альтернативного трубопроводам варианта транспортировки природного газа в сжиженном виде, хотя практическая реализация этой задачи требует значительных капиталовложений.

СПГ является самым экологически чистым и безопасным из используемых в настоящее время видов топлива, а это открывает широкие перспективы его использования во многих сферах хозяйства. СПГ в качестве топлива оказывает гораздо меньшее воздействие на окружающую среду особенно в части выделения CO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>.

В настоящее время, когда вопросы энергетической безопасности приобрели глобальный масштаб и зачастую переходят в политическое измерение, актуальна для России как никогда тема арктических ресурсов [1].

К 2040г. суммарный прирост спроса на газ не превысит 15%, для сравнения: в странах АТР потребление газа увеличится в три раза и более [2].

Всех поставок СПГ в мире – порядка 100 млрд. м<sup>3</sup>. Лишь 23,7 млрд. м<sup>3</sup> из этого объема идет в Европу. Порядка 53 млрд. м<sup>3</sup> потребляют всего четыре страны: Южная Корея, Япония, Индия и Китай. По оценке ВР, в целом на азиатское направление сегодня идет примерно три четверти всего производимого в мире СПГ – 283,5 млрд. м<sup>3</sup> [2].

В России на настоящий момент введен в строй завод Ямал-СПГ, на котором действуют четыре технологические цепочки мощностью 16,5 млн. т СПГ в год. Завод функционирует на базе Тамбейского месторождения с запасами природного газа 926 млрд. м<sup>3</sup>.

Кроме того, на полуострове Гыдан НОВАТЕК строит завод по производству СПГ «Арктик СПГ-2 с мощностью каждой из трех линий в объеме 6,5 млн. т ежегодно. Планируется запустить 1 линию в 2023 году, в 2024 - 2-ю. Все три линии будут запущены к 2026 году. Завод будет функционировать на базе месторождения «Утреннее» с запасами газа 1434 млрд. м<sup>3</sup>. На этом же полуострове реализуется другой проект Новатэк Арктик СПГ-1 Мощностью трех линий 19,8 млн. тонн СПГ в год. Завод будет функционировать на базе месторождений Солетско-Ханавеских с запасами газа 450 млрд. м<sup>3</sup>. Стоит отметить, что впервые в России в этих проектах будет использовано импортозамещающие технологии и оборудование.

Суммарная мощность проектируемого и строящегося заводов «Арктик СПГ 1 и «Арктик СПГ-2 составит при их завершении 65 млн. т СПГ в год.

Для сравнения крупнейшие производители сжиженного газа в мире: Катар и Австралия производят в год 80 млн. т СПГ [3, 4].

На Сахалине функционирует завод ПАО Газпром по производству СПГ «Сахалин 2», который произвел в 2022 году 11,5млн. т СПГ.

АТР традиционно является главным рынком СПГ. Так как большинство стран лишено возможности получать более дешевый трубопроводный газ, СПГ становится единственным источником покрытия растущих потребностей. Основными направлениями поставок российского СПГ являются страны АТР, а именно – Китай, Тайвань, Южная Корея и Япония [5, 6].

Рост интереса к СПГ в Европе можно отнести, в частности, с реализацией политики ЕС по обеспечению энергетической и экологической безопасности. Это дало толчок к более активному использованию СПГ в качестве бункеровочного топлива в Северном и Балтийском морях. Безусловным лидером в этой области является Норвегия. По состоянию на 2018г. около половины всех судов на СПГ в мире приходится на это государство. Активно развивается эта отрасль в США и Канаде.

В России Ямalo-Ненецкий автономный округ является основой продвижения нашей страны в Арктику. В настоящее время в ЯНАО практически уже созданы пять новых центров добычи нефти и газа, которые станут основой энергетической безопасности страны [8].

Как было уже сказано крупномасштабных проектов в России четыре:

Ямал-СПГ, Сахалин 2, Арктик СПГ 1 и 2. С введением санкций, часть других проектов с участием иностранных инвесторов было закрыто. Это заводы Штокмановский, Печера, Владивостокский, Балтийский [3,9].

Все крупные СПГ-проекты экспортно ориентированы. Основными участниками рынка являются Газпром, Роснефть и НОВАТЭК. Только эти проекты по закону «Об экспорте газа» имеют право на поставки сжиженного газа на внешние рынки. Экономические санкции США и ЕС не касаются сотрудничества в газовой сфере в целом, но под их действие подпадают Роснефть и Газпром, в связи с чем возникают проблемы с привлечением иностранных инвестиций.

Значительное внимание уделяется использованию СПГ в качестве бункерного топлива. Флот судов на СПГ к началу 2018г. достиг 275 единиц.

Основными конкурентами малотоннажных СПГ- заводов в топливно-энергетических балансах регионов России являются дизель – заправка авто - и железнодорожного транспорта, и дизель и мазут в качестве топлива для электростанций и котельных. По оценкам [10] потенциал рынка СПГ для газоснабжения автономных потребителей газа достигнет 4,6 млн. т/год. Еще 1 млн. т/год – потенциал СПГ как резервного и аварийного топлива. В 30 регионах России возможна газификация с использованием СПГ отдаленных районов. При этом наиболее эффективно газифицировать районные центры.

К 2030г. планируется использование СПГ на внутреннем рынке в качестве моторного топлива в объеме до 5,4 млн. т/год.

Таким образом, к 2030г. более 15% всего объема традиционного топлива, потребляемого в указанных сегментах транспорта может быть замещено СПГ.

Учитывая, что проекты крупнотоннажного экспортного СПГ требуют значительных капитальных вложений и эксплуатационных затрат, а падение мировых цен на нефть влечет за собой падение цен на СПГ, под угрозу попадает окупаемость иностранных инвестиций, вложенных в данные проекты, особенно в дорогостоящие арктические. Все это привело к замораживанию ряда российских крупнотоннажных экспортных проектов СПГ [11].

Объем запасов природного газа (ПГ) на разрабатываемом месторождении играет важную роль в определении количества инвестиций как на стадии разведки и добычи ПГ, так и на стадии производства СПГ. Кроме того, малотоннажное производство СПГ представляет значительный интерес при освоении мало ресурсных месторождений ПГ, доля которых от общего числа месторождений ПГ в мире и в России составляет около 80% [12].

По прогнозам к 2030г. объем мирового рынка малотоннажного СПГ может вырасти до 100 млн. т/год.

Для импорта или экспорта СПГ, в особенности для обеспечения базовой нагрузки с 1960 гг. газ, в основном, сжижался на заводах, расположенных на суше. С учетом постоянного изменения динамики рыночного спроса и предложения во всем мире начинают вводить в эксплуатацию плавучие заводы СПГ, которые располагаются на шельфе или в прибрежной зоне, при этом особое внимание уделяется снижению проектных расходов, повышению эффективности эксплуатации и сокращению сроков строительства. Почти два десятилетия назад были построены первые плавучие заводы СПГ (FLNG) [14]. Концепция плавучего завода СПГ основана на применении традиционных опорных блоков на мелководных акваториях с глубиной до 60 м. В первую очередь они предназначены для двух сегментов отрасли: для производства в объемах от 1 до 5 млн. т/год и для размещения между прибрежной зоной и глубоководными акваториями.

Первый плавучий завод для глубоководных акваторий был введен в эксплуатацию в 2017 г. [15]. С целью снижения стоимости ввода в эксплуатацию плавучих СПГ заводов предложен вариант СПГ-завода на основе переоборудованных танкеров-газовозов, что делает возможным доступ к труднодоступным месторождениям и возможность передислокации, когда запасы месторождения будут истощены. Плавучие СПГ-заводы на переоборудованных танкерах-газовозах вполне могут конкурировать с СПГ- заводами на суше, если запасы газа на труднодоступном морском месторождении составляют не менее 57 млрд. м<sup>3</sup> газа, а акватория характеризуется спокойной волновой обстановкой [16].

На севере России основным якорным центром является Мурманская область. Основные направления использования – бункеровка судов, замещение мазута в ЖКХ и промышленности. В перспективе – перевод крупнотоннажной карьерной техники на СПГ.

Еще одним якорным центром является Урал, где построена СПГ-инфраструктура в Свердловской области. В существующих и планируемых проектах СПГ здесь используется как в качестве базового, так и резервного и аварийного топлива для котельных. В рамках совместной работы ПАО Газпром и РЖД идет опытная эксплуатация разных типов газотурбовозов на СПГ и мобильных заправочных комплексов.

Север Красноярского края с городом Норильском является одним из наиболее перспективных центров использования СПГ. Возможные направления использования – железнодорожный транспорт, бункеровка судов в порту Дудинка, карьерная техника, автономное энергоснабжение [11].

Для вывоза продукции Ямал-СПГ в общей сложности должны работать 15 танкеров-газовозов усиленного ледового класса Arc7 вместимостью 170 тыс. м<sup>3</sup> (около 74 тыс. т) [17]. В настоящее время для перевозки газа с ЯМАЛ-СПГ функционируют два судохода «Арктик 7», вместимостью 170 тыс. т.

Эти танкеры-газовозы способны осуществлять круглогодичную транспортировку СПГ без ледокольной проводки в западном направлении и в течение летней навигации – в восточном. Суда могут самостоятельно проходить льды толщиной более 2,1м и работать при температуре -50°C. Танкер обладает системой двойного действия: носовая часть приспособлена для навигации в открытой воде и в условиях тонкого льда, а кормовая оптимизирована для самостоятельной навигации в сложных ледовых условиях. Использование танкеров ледового класса – дорогое удовольствие, поэтому решено построить на Камчатке перевалочный терминал мощностью до 20 млн т/год. Здесь сжиженный газ Ямала и Гыдана ( завод Арктик-СПГ2) будет перегружаться на более дешевые в эксплуатации конвенционные (неспециализированные) суда. По некоторым прогнозам, после запуска всех заводов по сжижению газа Ямал станет центром производства СПГ с объемом 80 млн т/год [8].

Для обеспечения отгрузки продукции Ямал-СПГ предназначен порт Сабетта. Сжиженный природный газ отгружается через двухпричальную технологическую эстакаду СПГ. Перевозки СПГ начались в декабре 2017г. Транспортировка СПГ производилась в Европу прямymi рейсами с перевалкой в различных портах на конвенциональные газовозы.

Летом 2018 г. был совершен первый рейс поставки СПГ в Китай без ледокольного сопровождения по восточному направлению СМП [15].

Развитие российской Арктики, связанное, главным образом, с освоением минеральных ресурсов, является в среднесрочной перспективе приоритетным направлением для

страны. Проекты такого развития вызовут рост грузопотока, который в максимальном сценарии оценен в 100 млн т к 2030г. Транзитные грузопотоки могут добавить к этим объемам от нескольких млн т по пессимистическому прогнозу до десятков миллионов тонн по оптимистическому прогнозу. Все это формирует масштабный, крупнотоннажный грузопоток, для обеспечения которого необходимы новые стандарты и требования к безопасности судоходства. Для эффективной реализации планов экономического развития и транзита потребуется масштабное развитие портовой инфраструктуры, навигационного, спасательного и сервисного обслуживания СМП, а также создание бункеровой инфраструктуры на всем протяжении СМП.

Экономическое развитие в Арктике потребует технического переоснащения флота, которое может быть сопряжено с широким использованием СПГ в качестве бункерного топлива.

Все суда для безопасной работы в Арктике должны быть должного ледового класса и, несмотря на глобальные изменения климата и уменьшение ледового покрова, данное требование сохранится еще долго. Скорее всего, все суда, построенные специально для Арктической зоны, будут работать в Арктике постоянно без релокации в другие районы. Наилучшим вариантом является строительство новых судов, которые сразу могут использовать СПГ.

СПГ может поставляться с реализуемых крупнотоннажных проектов в Арктике — «Ямал СПГ» и «Арктик СПГ». Кроме того, поставка СПГ возможна из Норильска, Якутии и с Чукотки, в этих районах в отдельные периоды времени рассматривались возможности производства СПГ.

География реализуемых и возможных центров производства СПГ благоприятна для организации морского транспортного коридора вдоль СМП, в котором в качестве бункерного топлива будет использоваться СПГ.

Доступность СПГ и короткое транспортное плечо, надежность поставок СПГ с различных производств обеспечивают значительные ценовые конкурентные преимущества СМП по сравнению с другими маршрутами, что позволяет надеяться на существенный рост транзитных грузоперевозок по СМП.

Проекты производства СПГ в Арктике по своему объему являются проектами мирового уровня. А это позволяет рассматривать СПГ не только в качестве бункерного топлива, но и в следующих сегментах для снижения северного завоза нефтяных топлив:

- энергообеспечение ГРР на шельфе и обеспечение платформ;
- плавучие энергостанции;
- береговые и плавучие газовые хранилища для населенных пунктов;
- газо- и энергообеспечение населенных пунктов на СМП и реках акватории Северного Ледовитого океана;
- развитие морских портов с учетом экологической чувствительности окружающей среды к интенсивной хозяйственной деятельности человека.

Арктическая стратегия РФ 25 предусматривает мероприятия по обеспечению экологической безопасности и активному использованию местных энергетических ресурсов, что позволяет использовать СПГ в Арктической зоне как для бункеровки, так и для энергоснабжения населения и промышленных потребителей.

Судоходство на СМП позволит развивать перевозки по крупным сибирским рекам и по направлению море-река (Енисей, Обь, Лена). Это может стать основой для газификации потребителей вдоль рек, опорной точкой для начала бункеровки речных судов.

Судоходство на СМП потребует значительно меньшего количества топлива (по сравнению с Суэцким каналом) за счет существенного сокращения маршрута между Европой и Азией, что позволяет получать дополнительные доходы. Использование СПГ позволит получить еще больший экономический эффект. Использование судов на СПГ для перевозки нефти, металлов и иных грузов позволяет окупить затраты на использование газового оборудования и специальных двигателей за 2,5–5,5 лет, что подтверждает высокую конкурентоспособность СПГ в Арктике.

Кроме того, учитывая значительную долю расходов на транспортировку в конечной стоимости продукции, актуальным является создание собственного производства газовозов. Газовозы Россия пока тоже вынуждена заказывать на южнокорейских верфях [6].

Большие экологические и экономические преимущества сулит перевод так называемого северного завоза на СПГ. Это даст дополнительную синергию и ускорит реализацию проектов по организации бункеровки сжиженным газом в Арктике, а также будет способствовать газификации различных потребителей в отдаленных районах. Для этого требуется не только строительство заводов по производству СПГ, но и формирование флота газовозов и систем хранения СПГ у потребителя. По инициативе Всемирного фонда дикой природы начата пилотная проработка возможности перевода на СПГ одного из арктических регионов – Чукотки, что позволит обеспечить устойчивое социально-экономическое развитие, повысить качество жизни населения. При этом объем выбросов в атмосферу снизится почти в два раза от текущего уровня.

Согласно данным, утвержденным Центральной комиссией по согласованию технических проектов разработки месторождений Роснедр, к 2026г. объем грузопотока по СМП составит более 45 млн. т/год (из которых 37,2 млн т составит СПГ [19].

### Литература

1. Международное сотрудничество, безопасность энергетических проектов и транспорта в Арктике. По материалам встречи в Саббете, // Арктические ведомости. – 2017. - №4. - С. 4-9.
2. А.Фролов. СПГ между сланцевым газом и торговой войной. // Газпром. – 2018. - №11. - С. 6-14.
3. С. Миславский. Путь России: сжиженный природный газ. // Газовый бизнес. – 2018. - №2. - С. 34-39.
4. С. Рогинский. ESCAPE: внешние и внутренние аспекты. // Нефтегазовая вертикаль, сентябрь 2018. - № 17 (439). - С. 39-46.
5. С. Тихонов. Ямал СПГ – билет в будущее. // Нефтегазовая вертикаль, декабрь 2017. - № 23 (420). - С. 21-26.
6. Итоги. // ТЭК России. – 2018. - №9. - С. 90 -92.
7. К.Сергеев. Торговая война США и ЕС: побеждает русский газ. // Нефть России, июль-август 2018. - С. 37-42.
8. Д. Кобылкин. Ямал – это опора российской Арктики. // Арктические ведомости. – 2017. - №4. – С. 10-13.
9. А. Собко. Россия перед рывком. // Нефтегазовый вестник, июнь 2018. - №11 (435). - С. 31-37.
10. В. Карасевич, С. Руденко, Я. Спасов. Важная государственная задача. // Газовый бизнес. – 2018. - № 2. - С. 40-43.
11. Н.Звуйковский. Сдержаный оптимизм. // Oil & Gas J. Rus. – 2016. - №3 (102). - С. 50-54.
12. Е. Рачевский, О. Черемных. Целесообразность экспорта сжиженного природного газа с малотоннажных заводов СПГ. // Газовая промышленность. – 2017. - №6 (753). - С. 82-84.
13. А. Сергаева, А. Хауг. Малый СПГ для Европы. // Нефть России. – 2018. - №5. - С. 15-19.
14. М. Ван Дер Мерве. Кульминационный момент для операций плавучих заводов по производству СПГ. // Нефтегазовые технологии и аналитика. – 2017. - №6. - С. 62-65.
15. М. Наранхо, Л. Катберт. Концепция СПГ-терминала на стационарной платформе. // Offshore Russia, май 2018. - 2(20). – С. 24-29.
16. Д. Скотт. Плавучий СПГ – из газовоза // Oil & Gas J. Rus. -2018. - №9 (129). - С. 94-100.
17. В. Прусаков. Ледокольные заторы на пути организации круглогодичного экспорта СПГ из российской Арктики. // Нефть и капитал. – 2018. - №6 (248). - С. 38-43.
18. Е. Забелло. СПГ из Арктики. // Oil & Gas J. Rus. 2018. - № 1-2. - С. 28-33.
19. Д. Фишキン. В Арктике начат альтернативно-плановый подход к социально-экономическому развитию. // Нефтегазовая вертикаль. – 2018. - №8. – С. 20-24.

## **2.13. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ ДВО РАН**

1. Методами газовой хроматографии и хромато-масс-спектрометрии исследован состав и динамика трансформации, насыщенных углеводородов-биомаркеров в угле Сергеевского месторождения. В зависимости от биомаркерных параметров в изученном разрезе выявлены пласти аллохтонного, автохтонного и смешанного происхождения, различающиеся природой и условиями накопления растительной биомассы. Аллохтонные угли, обогащенные битумоидами и генетически связанные с террагенным биоматериалом, формировались в окислительной обстановке. Переход к автохтонным и смешанным углям сопровождался повышением вклада аквагенных биомаркеров и неоднократным изменением фациальных условий осадконакопления. Автохтонные угли отличаются аномальным содержанием высших алканов и нестандартным распределением изопренOIDНЫХ углеводородов.

**Носкова Л.П. // Химия в интересах устойчивого развития. / 2023. - № 1. - Т. 31 - С. 65-72. <https://doi.org/10.15372/KhUR2023440>.**

2. Исследованы концентрации, формы нахождения и особенности локализации редкоземельных элементов в миоценовых бурых углях Сергеевского месторождения Приамурья. Суммарное содержание их в углях (97,43 мг/кг) превышает кларк в полтора раза; количество легких лантаноидов (74,57 мг/кг) превалирует над тяжелыми (7,68 мг/кг). Главными концентраторами лантаноидов в миоценовых бурых углях являются гуминовые кислоты. В водорастворимой, ионообменной, силикатной и дисульфидной формах количество редкоземельных элементов не превышает 5% от валового содержания, за исключением скандия, 22% которого связано с силикатными минералами, такими как глины.

**Радомская В.И., Шумилова Л.П., Носкова Л.П., Сорокин А.П., Павлова Л.М., Дугин С.В., Соктоев Б.Р., Поселюжная А.В., Иванов В.В. // Химия твердого топлива. / 2023. - № 1. С. 32-46. <https://doi.org/10.31857/S0023117723010061>.**

3. Лабораторные модельные эксперименты показали, что торф, бурый уголь и составляющие его органоминеральные компоненты, а также микроскопические грибы, выделенные из бурых углей, характеризуются высоким потенциалом извлечения всех лантаноидов из водных растворов. Процессы сорбции редкоземельных элементов компонентами органического вещества протекают по механизмам физической сорбции, ионообменных реакций с участием карбоксильных и гидроксильных групп, комплексообразования – с вовлечением –OH-, –CO- и –COOH-групп. На грибной биомассе методом СЭМ–ЭДС-анализа выявлены РЗЭ-содержащие минеральные фазы, которые образуются за счет взаимодействия с азот- и фосфорсодержащими функциональными группами белков клеточной оболочки. Это свидетельствует об участии биотической компоненты в формировании редкоземельной минерализации в буроугольных отложениях.

**Павлова Л.М., Шумилова Л.П., Радомская В.И., Сорокин А.П., Иванов В.В., Носкова Л.П., Леусова Н.Ю. // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. / 2023. - № 2.- Т. 512. С. 199-206. <https://doi.org/10.31857/S2686739723600923>.**

4. Изучено формирование металлоносных угленосных отложений Райчихинского месторождения в зоне сопряжения питающих провинций Бурейского поднятия и областей угленакопления Зейско-Буреинского осадочного бассейна. Установлено, что оно происходило в условиях последовательных процессов извлечения рудных компонентов из кор выветривания Бурейского поднятия, транспортировки и разгрузки их в палео-дельте р. Бурея. Эти процессы протекали синхронно с вулканической деятельностью в Сихотэ-Алинском орогенном поясе, с которой связан привнос вулканического пепла. Сопряженность этих событий позволила выделить два типа обогащения редкоземельных элементов и иттрия (REY) Приамурья: терригенный – с поступлением REY поверхностными водами и комбинированный терригенно-вулканогенный, связанный с поступлением и выщелачиванием кислых и щелочных вулканических пеплов. В углях и продуктах их сгорания преобладают лантаноиды цериевой группы. Наибольшая доля REY содержится в золе-уноса (0,11% от общей

массы). Механизмы накопления рудных компонентов на стадии торфяной залежи рассмотрены с позиций локализации рудных микрокомпонентов в виде кластогенно-минеральных форм и в условиях взаимодействия рудных растворов с органической средой торфянников. Проведена оценка качества REY, выделены наиболее обогащенные участки пласта «Верхний». Перспективы извлечения из угля лантаноидов рассмотрены с позиции возможности вовлечения в этот процесс также целого ряда редких, цветных и благородных металлов.

**Сорокин А.П., Агеев О.А., Дугин С.В., Попов А.А.** // Химия твердого топлива. / 2023. - № 1. - С. 13-31. <https://doi.org/10.31857/S0023117723010097>.

5. Проведена серия экспериментов по выщелачиванию РЗЭ с использованием бурых углей Сергеевского месторождения водой, щелочным и кислотными растворами. С помощью комплекса методов (ISP-MS, XRD, минералогического, СЭМ-ЭДС, ИК-спектрометрии) выявлено, что наиболее эффективным оказалось кислотное выщелачивание – 1 М соляной кислотой за 24–48 ч экстрагируется 72–99% РЗЭ. Этот факт свидетельствует о том, что большая часть РЗЭ в бурых углях Сергеевского месторождения связана с органической матрицей в виде комплексов с карбоксильными группами гуминовых и фульвокислот. Высокий процент извлечения РЗЭ указывает на возможность использования углей Сергеевского месторождения в качестве легко обогатимого источника РЗЭ.

**Радомская В.И., Шумилова Л.П., Сорокин А.П., Соктоев Б.Р., Иванов В.В., Павлова Л.М.** // Химия твердого топлива. / 2023. - № 6. - Т. 98. - С. 49-60. <https://doi.org/10.31857/S0023117723060075>.

6. Исследованы концентрации, формы нахождения и особенности локализации редкоземельных элементов в миоценовых бурых углях Сергеевского месторождения Приамурья. Суммарное содержание редкоземельных элементов в исследуемых углях (97.43 мг/кг) превышает кларк в полтора раза; количество легких лантаноидов (74.57 мг/кг) превалирует над тяжелыми (7.68 мг/кг). Главными концентраторами лантаноидов в миоценовых бурых углях являются гуминовые кислоты. В водорастворимой, ионообменной, силикатной и дисульфидной формах количество редкоземельных элементов не превышает 5% от валового содержания, за исключением скандия, 22% которого связано с силикатными минералами, такими как глины.

**Радомская В.И., Шумилова Л.П., Носкова Л.П., Сорокин А.П., Павлова Л.М., Дугин С.В., Соктоев Б.Р., Поселюжная А.В., Иванов В.В.** // Химия твердого топлива. / 2023. - № 1. - С. 32-46. <https://doi.org/10.31857/S0023117723010061>.

7. Работа посвящена изучению топохимической кинетики твердофазных химических реакций фторидно-аммониевой переработки золошлаковых отходов теплоэлектростанций и проводится с целью апробации разрабатываемой технологии на актуальном для Амурского региона сырье. Ранее объектом разработки данной технологии являлось силикатное и алюмосиликатное сырье как Амурского, так и других регионов Российской Федерации. Расчет кинетических параметров (констант скоростей, коэффициентов формы кинетических кривых, энергий активации) с последующим определением зон и уравнений протекания реакций проводится методом параметрического регрессионного и корреляционного анализа с пятью параметрическими функциями (степенным и экспоненциальным законами, уравнениями Ерофеева – Авраами, трехмерной диффузии и сжимающегося объема), выбор между которыми проводится по минимуму погрешностей аппроксимаций для каждой температуры. Расчет далее сопровождается вычислением для данной температуры статистических характеристик выбранной модели регрессии и проверкой пяти статистических гипотез: гипотез Фишера об однородности дисперсии воспроизводимости и об адекватности модели регрессии, а также гипотез Стьюдента о значимости коэффициентов регрессии, о практической ценности функции отклика и значимости коэффициента корреляции. Для расчетов используется созданная авторами программа на языке Visual Basic в интерактивной среде разработки программного обеспечения Visual Studio Community 2019.

**Пушкин А.А., Римкевич В.С., Гиренко И.В.** // Успехи современного естествознания. / 2023. - № 9. - С. 77-81. <https://doi.org/10.17513/use.38106>.

8. Проведены физико-химические исследования процессов фторидно-аммониевой переработки каолинсодержащего сырья Чалганского месторождения и золошлаковых отходов после сжигания углей из месторождений Приамурья. Разработана инновационная технология комплексного извлечения различных полезных компонентов из вышеуказанного сырья.

**Римкевич В.С., Гиренко И.В., Пушкин А.А.** // Инновации. Наука. Образование. / 2023. - № 86. - С. 5-10.

9. Проведен анализ содержаний стратегических металлов в шлаке, золе уноса и продуктах мокрой очистки дымовых газов, при сжигании угля в кипящем слое, позволяет выделить наиболее перспективные для промышленного извлечения фракции: шлак и золу уноса для извлечения стратегических металлов и редкоземельных элементов и шлам для извлечения стратегических тяжелых цветных металлов. Технология раздельного получения ПСУ при послойном сжигании угля в режиме кипящего слоя и комбинированная очистка дымовых газов также решает и экологическую задачу – уменьшение вредных выбросов в атмосферу.

**Сорокин А.П., Агеев О.А.** // Материалы XXVIII Международной научно-технической конференции «Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья», /06-07 апреля 2023 г., Екатеринбург: Сб. материалов. г. Екатеринбург: ООО «Типография ФортДиалог». - 2023. - С. 238-242.

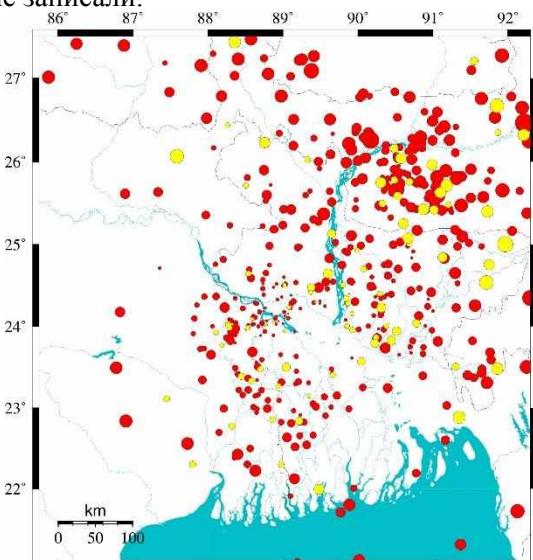
## **2.14. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ЗЕМЛИ РАН**

**Сейсмические наблюдения в экстремальных природно-климатических условиях**  
*Быкова В.В., Матвеев И.В., Михин А.Г., Татевосян Р.Э.*

Мониторинг локальной сейсмичности является неотъемлемой частью обеспечения экологической безопасности на всех стадиях проектирования, строительства и эксплуатации объектов критической инфраструктуры.

ИФЗ РАН проводит мониторинг в России и за рубежом, в тяжелых природно-климатических условиях (экстремально высокая температура и почти стопроцентная влажность воздуха; в Арутических условиях). Они оказывают негативное влияние на технику, требуют постоянных усилий по обеспечению функционирования локальной сети станций.

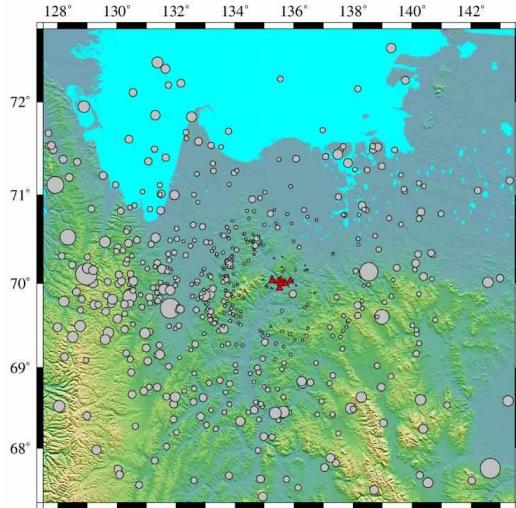
На рисунке 1 представлена карта эпицентров землетрясений, зарегистрированных локальной сетью в условиях субэкваториального муссонного климата. Полученный результат является уникальным, т.к. большинство этих землетрясений региональная и мировая сети не записали.



**Рисунок 1 – Карта эпицентров зарегистрированных событий в 2023 г. (желтые круги), 2014-2022 (красные)**

В 2021 – 2022 гг. в суровых арктических условиях проводился мониторинг на севере Якутии. Зимние минимумы температур достигают -60°C.

На основании записей сети составлен каталог землетрясений, включающий 625 событий (карта эпицентров показана на рисунке 2). Эти наблюдения также являются уникальными, в других источниках сведений об этих землетрясениях отсутствуют. Результат учтен для обоснования безопасности площадки размещения объекта в 2023 г. Для обеспечения контроля сейсмической обстановки сеть модифицирована, планируется ее дальнейшая эксплуатация.

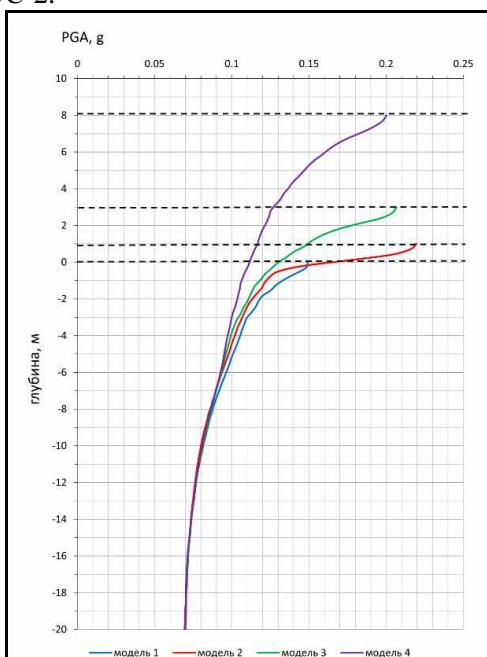


**Рисунок 2 – Карта эпицентров 2021-2022 гг. (кружки); станции – красные треугольники**

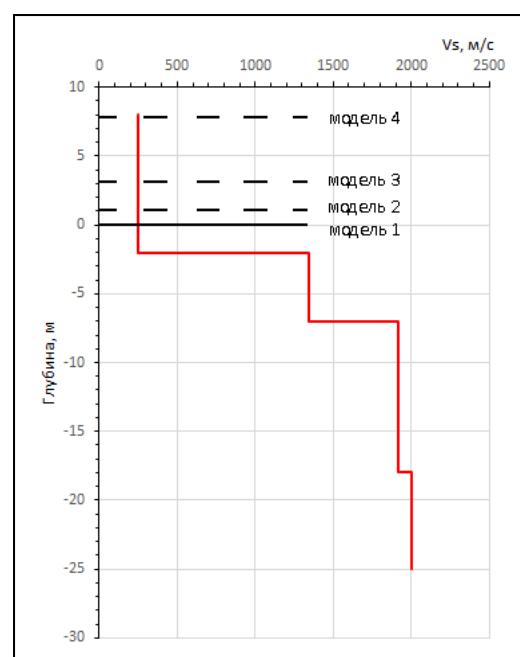
### **Анализ реакции грунтов при контрастном скоростном разрезе**

*Аммосов С.М., Калинина А.В., Татевосян Р.Э.*

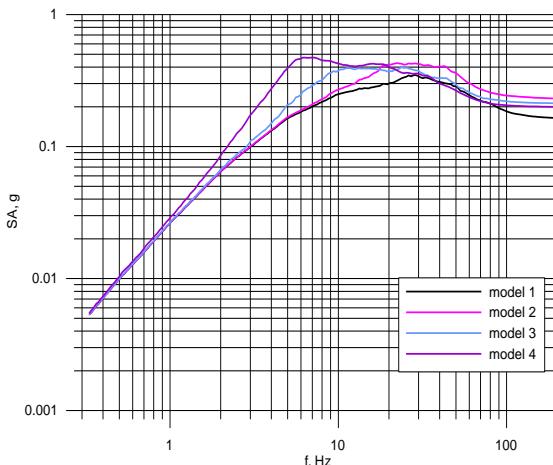
Выявлены характерные закономерности строения грунтовой толщи, которые могут приводить к усилению исходных сейсмических воздействий на скальном основании. Показано, что в условиях контрастного скоростного разреза щитов древних платформ, даже небольшие изменения маломощной верхней части грунтового профиля могут приводить к существенным изменениям спектра реакции на поверхности (рисунки 3-5). При этом спектр реакции оказывается более высокочастотным по сравнению с грунтами в естественном залегании. Полученные результаты использованы для обоснования инвестиций Кольской АЭС-2.



**Рисунок 3 – Скоростные характеристики анализируемых сейсмогеологических моделей**



**Рисунок 4 – Результат: изменение пиковых ускорений грунта с глубиной для различных моделей**



**Рисунок 5 – Спектр реакции для грунтов в естественном залегании (model 1) и при увеличении мощности низкоскоростного верхнего слоя на 1 м (model 2), на 3 м (model 3) и на 8 м (model 4). Увеличение мощности всего на 1 м приводит к существенному росту расчетных сейсмических воздействий**

## **Разработка комплекса пассивных сейсмических методов для изысканий в сложных природных и природно-техногенных условиях (совместно с ФИЦКИА УрО РАН)**

*Капустян Н.К.*

Разработаны основы комплексирования различных пассивных сейсмических методов для изучения строения верхней части разреза земной коры, оценки состояния пород, их геодинамической активности и мониторинга изменения их состояния. Комплекс предложен для трех типов изысканий:

- 1) выявления и обследования очагов землетрясений с  $M \sim 3$  на малоизученных территориях (например, платформах Русского Севера), при эпицентральных наблюдениях,
- 2) поиска трубок взрыва в алмазоносных провинциях,
- 3) оценки состояния и мониторинга береговых примыканий крупных гидротехнических объектов (насыпных или железобетонных плотин),
- 4) для железнодорожных насыпей оценки физических свойств грунта *in situ* и мониторинга их состояния.

Проведено экспериментальное опробование комплекса при сравнении с результатами применения активных сейсмических методов (сейсморазведки, ГСЗ). При обследовании железнодорожных насыпей привлекаются результаты аналитического моделирования. Комплекс включает: модифицированный метод микросейсмического зондирования (ММЗ), метод Накамуры, сейсмическую интерферометрию и метод микросейсмической активности (ММА) для оценки современной сейсмической активности. При работах в зонах техногенных воздействий добавляются методы просвечивания узкополосными сейсмическими техногенными сигналами и колебаниями от проходящих поездов.

Отдельные методы (ММА, просвечивание техногенными сигналами) и конструирование комплекса методов производится впервые, комплекс прост и технологичен и может использоваться для обследования малоизученных и труднодоступных территорий. Существенно, что применение комплекса позволяет выявлять опасные природно-техногенные процессы на ранней стадии.



**Рисунок 6 - Блок-схема комплекса сейсмических пассивных методов**

### Публикации:

**Antonovskaya Galina, Kapustyan Natalia.** The earth-fill dam state express investigation using mechanical vibrations produced by HPP // Frattura ed integrita strutturale, том 17, № 63, 2022. с. 46-60 DOI.

**Kapustian N.K., Shakhova E.V., Antnovskaya G.N.** New Opportunities for Epicentral Seismic Observations Seismic Instruments. - 2022. - № 6 – Т. 58 - С. 732-742.

**Антоновская Г.Н., Капустян Н.К., Шиленкова В.С.** Экспериментальное подтверждение теории деформирования поездом железнодорожной насыпи. // Вопросы инженерной сейсмологии - 2023. - №3. - Т.50 - С. 79-84.

**Антоновская Г.Н., Данилов К.Б., Басакина И.М., Афонин Н.Ю., Капустян Н.К.** Опыт применения и возможности комплекса пассивных сейсмических методов для изучения глубинного строения земной коры.// Геофизические исследования. – 2023. - №3 – Т.24 - С.5-29 doi.org/10.21455/gr2023.3-1.

### Строгие достаточные условия возникновения гравитационной неустойчивости ограниченного геомассива

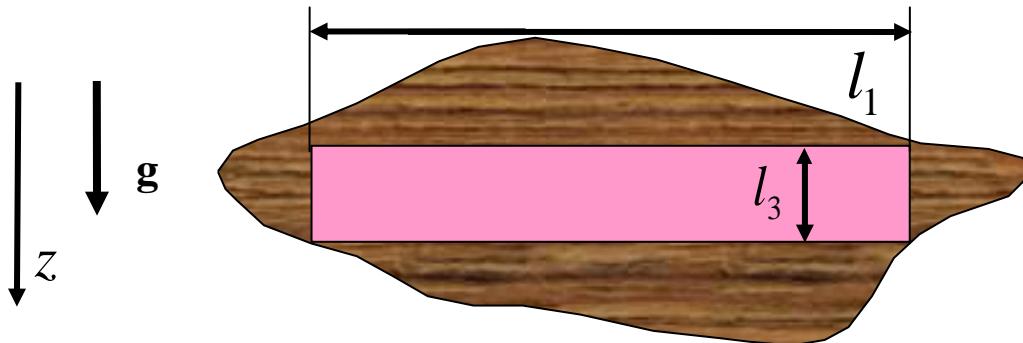
*Рыжак Е.И., Гарагаш И.А.*

Получены строгие условия гравитационной неустойчивости упругого геомассива при заданном убывании плотности  $\rho_0(z)$  с глубиной.

Полученные строгие достаточные условия неустойчивости, а именно, критические значения сдвиговых жесткостей, могут быть использованы для оценки опасности возникновения катастрофических явлений механической природы, а также при оценке достоверности данных о распределении геомеханических параметров по глубине, исходя из соображений устойчивости.

Исследуется на устойчивость равновесное гидростатически напряженное состояние геомассива. Реакция материала на возмущающие деформации характеризуется ненулевыми сдвиговыми модулями  $G_i(z)$   $i=1,\dots,5$ . Геомассив занимает в равновесном состоянии область произвольной заданной формы с фиксированной границей (см. рисунок). Аномальная стратификация по глубине  $Z$  характеризуется величиной  $d\rho_0/dz < 0$ .

Умозрительно вписанный в занимаемую геомассивом область параллелепипед (см. рисунок) имеет вертикальный размер  $l_3$  и горизонтальные размеры  $l_1$  и  $l_2$ .



Достаточные условия неустойчивости:

$$\bar{G} < C \frac{1}{4\pi^2} g \left| \frac{d\rho_0}{dz} \right|_{\min} l^2, \quad \bar{G} = \max_{i,z} G_i(z), \quad \text{где } C - \text{константа:}$$

$$l_3 = l \ll l_1, l_2 \Rightarrow C = 3/8; \quad l_3 = l_1 = l_2 = l \Rightarrow C = 4/13; \quad l_3 \gg l_1 = l_2 = l \Rightarrow C = 4/5$$

### Публикации:

**Рыжак Е.И., Синюхина С.В.** Строгие условия устойчивости и неустойчивости для тяжелой аномально стратифицированной ограниченной упругой среды. // В сб. тезисов докладов XIII Всероссийского съезда по теоретической и прикладной механике. 21-25 августа 2023 г. - Санкт-Петербург. - Т.3. - С. 166-167.

**Рыжак Е.И., Синюхина С.В.** О неустойчивых изостатических стратификациях тяжелых геомассивов. // Доклады Российской Академии Наук. Науки о Земле. – 2021 - № 1 - Т. 500 - С. 53-57. DOI: 10.31857/S2686739721090164.

**Рыжак Е.И., Синюхина С.В.** Об устойчивости стратифицированных упругих геосистем в поле силы тяжести. // ДАН (геофизика). - 2019. - №3. - Т. 489 - С. 298-302.

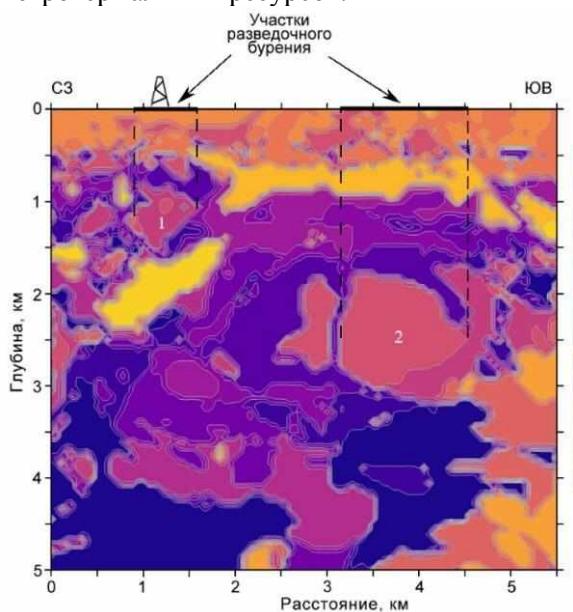
**Ryzhak E.I., Sinyukhina S.V.** On stability and instability of stratified elastic solids in a gravity field // International Journal of Non-Linear Mechanics. 2022. V. 142, 103990. DOI <https://doi.org/10.1016/j.ijnonlinmec.2022.103990>.

**Синюхина С.В.** О влиянии сдвиговой жесткости и сжимаемости на устойчивость тяжелых стратифицированных геомассивов. // Физика Земли. - 2022. - № 2. - С.155–160, DOI: 10.31857/S0002333722020119

### Разработка научно-методических основ электромагнитной томографии геотермальных зон

*Спичак В.В., Захарова О.К., Ненюкова А.И.*

Разработаны научно-методические основы электромагнитной томографии геотермальных зон, основанные на построении их петро- и теплофизических моделей по результатам электромагнитного зондирования. Использование для их совместного анализа инновационных технологий искусственного интеллекта позволяет создать эффективный инструментарий для интерактивного отбора участков, перспективных для поиска и оценки геотермальных ресурсов. Разработанные методики опробованы в известной геотермальной области, где с их помощью выделены два участка, перспективные для бурения разведочных скважин (один из которых уже подтвержден бурением). Применение созданных методик в практике геологоразведочных работ на геотермальные, а также углеводородные источники энергии, может существенно повысить их эффективность благодаря резкому уменьшению затрат на разведочное бурение. Другая важная область их применения связана с открывающейся возможностью использования неэффективных нефтяных скважин для разработки петротермальных ресурсов.



### Кластерный разрез геотермальной зоны

N – номера кластеров, характеризующихся совокупностью значений петро- и теплофизических параметров.

“1” и “2” – резервуары геотермальной энергии, предлагаемые для разработки (участок “1” уже разрабатывается с 1990г.).

#### Публикации:

**Spichak V.V., Zakharova O.K.**, 2023. Modelling of electromagnetic predicting geothermal reservoir properties while drilling exploration borehole. International Communications in Heat and Mass Transfer, 140, 106563.

**Spichak V.V., Zakharova O.K.**, 2023. Electromagnetic resistivity pseudo-log as a new instrument for estimating reservoir properties beyond boreholes. J. Appl. Geophys., 215, 105115.

**Spichak V.V., Goidina A.G., Zakharova O.K.** 2023. Electromagnetic prediction of rock thermal properties beyond boreholes. J. Heat & Mass Transport, 216, 124579.

**Спичак В.В., Неникова А.И.,** 2023. Кластерный анализ свойств разреза с целью поиска участков для бурения разведочных геотермальных скважин. // Геоинформатика. - №2 – С. 56-65.

## Влияние изменений структуры пористости на характер разрушения осадочных пород

*Жуков В. С., Кузьмин Ю.О.*

Установлено, что изменения структуры пористости водонасыщенных образцов песчаника принципиально влияет на подготовку и тип их разрушения дополнительным осевым сжатием в пластовых условиях. Исследованы три типа разрушения образцов по характеру поведения кривых «напряжение–объёмная деформация» перед разрушением образцов: а) хрупкое; б) упругопластическое; в) дилатационное.

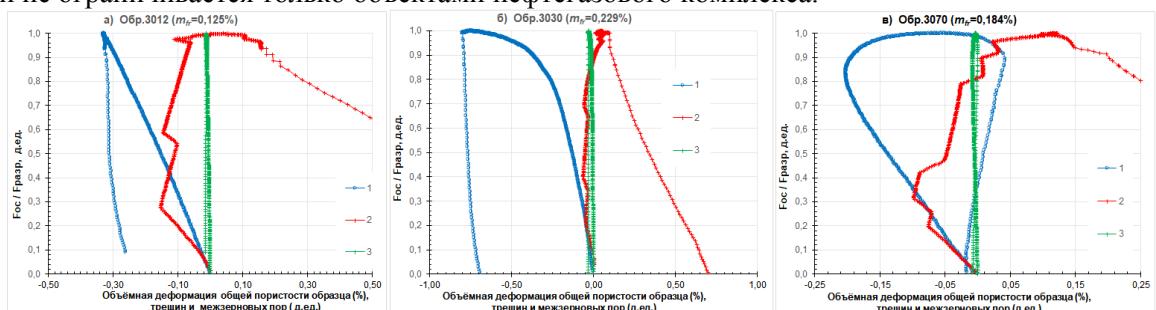
Разделение общей пористости на межзерновую и трещинную компоненты выявило различие вклада относительных объёмных деформаций трещин и межзерновых пор в формирование изменений объёмной деформации образцов песчаника при различном характере подготовки разрушения (риунок 7).

Подготовка хрупкого разрушения образцов (рисунок 7а) сопровождается пульсационными изменениями трещинной пористости (2), а её значительное увеличение было отмечено только перед разрушением. При этом, межзерновая пористость (3) монотонно уменьшалась вплоть до разрушения образцов.

Переход от упругих деформаций к упруго-пластичному и дилатационному характеру разрушения (рисунок 7а, 7б) предварялся ростом трещинной пористости (2), за счёт увеличения объёма микротрещин и резкими пульсационными их изменениями (2). Подобные короткопериодическим, пульсационным или знакопеременным деформациям, выявленным в зонах современных активных разломов нефтегазоносных областей.

Результаты экспериментов показали, что происходящие при повышении осевого сжатия резкие изменения амплитуд и знака объёмной деформации трещин (2) можно считать характерными признаками перехода к подготовке разрушения образцов горных пород определенного типа. Выявлено определяющее влияние изменений объёма трещин (трещинная пористость) на переход к разрушению исследованных образцов, т.к. они начинаются раньше отклонений объёмной деформации образца от упругого характера.

Результат получен впервые. Он позволяет оценить перспективы разрушения продуктивных пластов месторождений нефти и газа на основе развития их трещинной пористости и не ограничивается только объектами нефтегазового комплекса.



**Рисунок 7 – Изменения объёмной деформации: образца, % (1), трещин, д.ед. (2) и межзерновых пор, д.ед. (3) образцов песчаника при дополнительном осевом сжатии  $F_{oc}$  с разным характером разрушения: а) хрупким (обр.3012); б) с упруго-пластичным (обр.3030); в) дилатационным (обр.3070)**

### Публикации:

**Жуков В.С., Кузьмин Ю.О.** Изменения структуры пористости в сопоставлении с объёмной деформацией при подготовке разрушения на примере образцов песчаника. // Геофизические исследования. – 2023. -№ 4. - С. 5-27.

**Кузьмин Ю.О.** Современная геодинамика индуцированных разломов. // Геофизические процессы и биосфера. - 2023. - № 3. - Т. 22. - С. 5-65.

**2.15. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНО-УЧРЕЖДЕНИЕ «РЕСПУБЛИКАНСКИЙ АКАДЕМИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ И ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКИЙ ИНСТИТУТ ГОРНОЙ ГЕОЛОГИИ, ГЕОМЕХАНИКИ, ГЕОФИЗИКИ И МАРКШЕЙДЕРСКОГО ДЕЛА» МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Фундаментальные и прикладные исследования проводятся в рамках следующих основных направлений научных исследований ФГБНУ «РАНИМИ»: «Геомеханические исследования напряженно-деформированного и газодинамического состояния массива горных пород для обеспечения эффективной и безопасной эксплуатации месторождений полезных ископаемых»; «Исследования деформаций породного массива и земной поверхности, влияния горных работ на подземные и наземные сооружения и разработка мероприятий их защиты»; «Изучение строения и геодинамики литосферы геолого-геофизическими методами с целью поисков месторождений полезных ископаемых и прогноза горно-геологических условий их эксплуатации и экологических изменений окружающей среды».

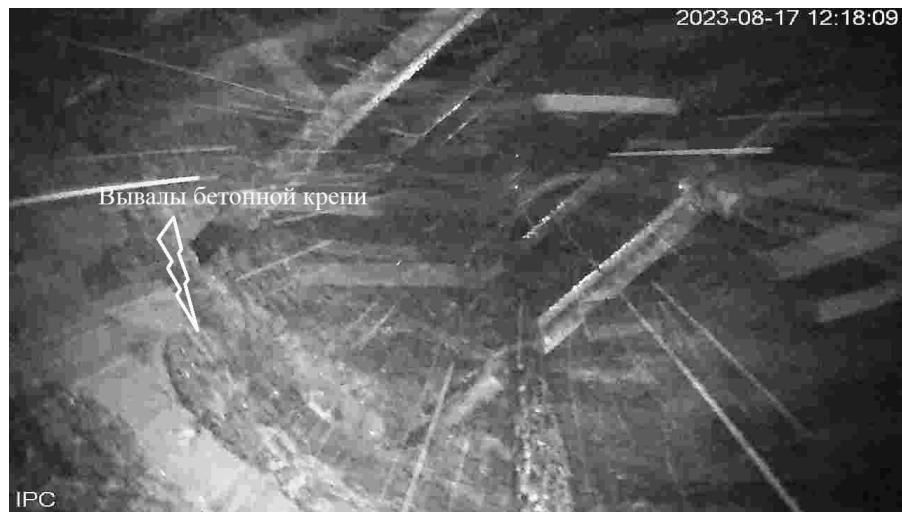
В 2023 году Институт проводил исследования по 3-м фундаментальным темам государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации и 7-ми хоздоговорным работам.

**Наиболее значимые результаты по направлению «Геомеханические исследования напряженно-деформированного и газодинамического состояния массива горных пород для обеспечения эффективной и безопасной эксплуатации месторождений полезных ископаемых»:**

**«Исследование устойчивости и трансформации напряженно-деформированного состояния обводненных массивов горных пород» (FRSR-2023-0006)**

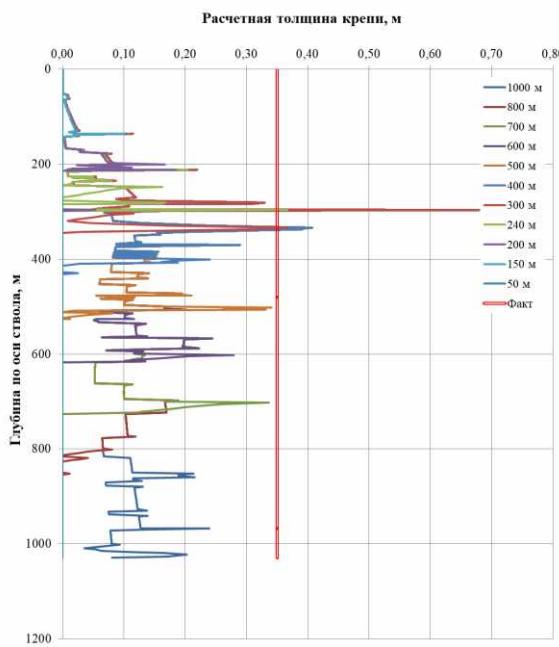
В отчетном периоде получены следующие научные и практические результаты.

1. По результатам проведенных экспериментальных исследований по изучению деформирования обводненных массивов (рисунок 1) выполнено имитационное моделирование (рисунок 2) затопления массива горных пород и оценка влияния затопления на крепь вертикальных шахтных стволов Торезско-Снежнянского углепромышленного района Донбасса.



**Рисунок 1 – Экспериментальные исследования в вертикальном стволе шахты «Рассвет». Вывалы в бетонной крепи в районе разбухшего аргиллита**

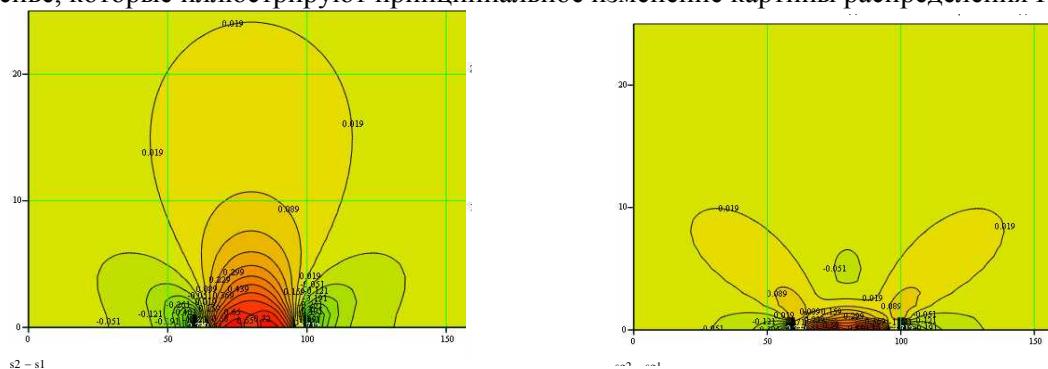
Создание моделей затопления вертикальных стволов производилось с целью изучения динамики работы системы «крепь-массив» в последовательно затапляемом горном массиве. Выполнена оценка напряженно-деформированного состояния околоствольного массива и крепи стволов при обводнении.



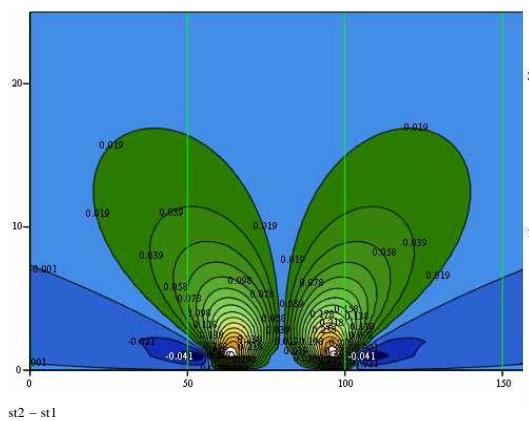
**Рисунок 2 – Результаты имитационного моделирования затопления вертикального ствола шахты «Комсомолец Донбасса»**

2. Разработана аналитическая модель формирования и трансформации напряженно-деформированного состояния массива при обводнении для одиночной очистной выработки на пологом падении, которая дает эффективную возможность анализа трансформации НДС подработанного массива при обводнении. Указанная модель впервые увязывает деформационные характеристики массива с мощностью разрабатываемого пласта, что существенно влияет на распределение напряжений, и, как следствие, на принципиальные решения в вопросах охраны горных выработок и шахтных стволов как в подрабатываемом, так и в надрабатываемом массиве.

На рисунках 3 и 4 приведены изолинии дополнительных напряжений в обводненном массиве, которые иллюстрируют принципиальное изменение картины распределения НДС.



**Рисунок 3 – Изолинии дополнительных вертикальных и горизонтальных напряжений**



**Рисунок 4 – Изолинии дополнительных тангенциальных напряжений**

3. Разработана модель взаимодействия крепи горных выработок и обводненного массива в зависимости от времени, параметров проведения и крепления.

Сформулирован новый энергетический подход к определению параметров крепи горных выработок, заключающийся в учете изменения и диссипации упругой энергии околоствольного массива в процессе формирования зоны неупругих деформаций при проходке выработки до и после установки крепи. Возвведенная крепь после набора прочности рассматривается как энергоприемник в квазиконсервативной системе «крепь-массив». Такой подход дает возможность оценить энергетику образования пластической зоны как упругого тела, напряженное состояние которого эквивалентно напряжениям в зоне неупругих деформаций.

На рисунке 5 приведена кривая диссипации энергии до установки крепи для разных коэффициентов Пуассона ( $v$ ) и технологического параметра отставания установки крепи от забоя ( $\ell/r$ ).

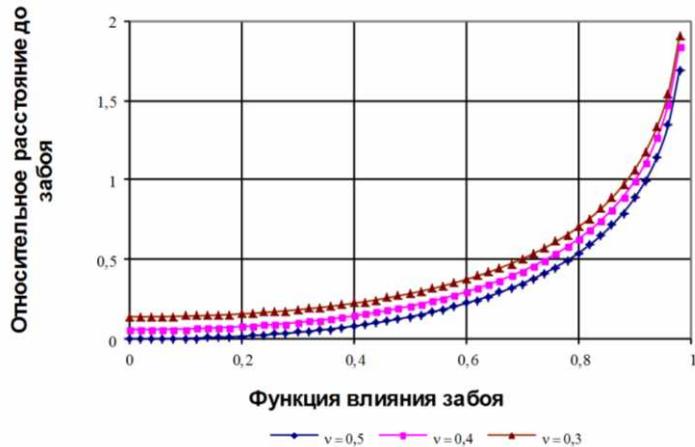


Рисунок 5 – Функция влияния забоя выработки

Таким образом, исходя из решения упругопластической задачи о распределении напряжений вокруг круглой выработки, было определено наличие ограничения на возможный отпор крепи  $P_{\max}$  при ее установке (рисунок 6) и установлено, что максимальный возможный отпор крепи ствола зависит от физико-механических свойств пород и технологического параметра  $\xi$ .

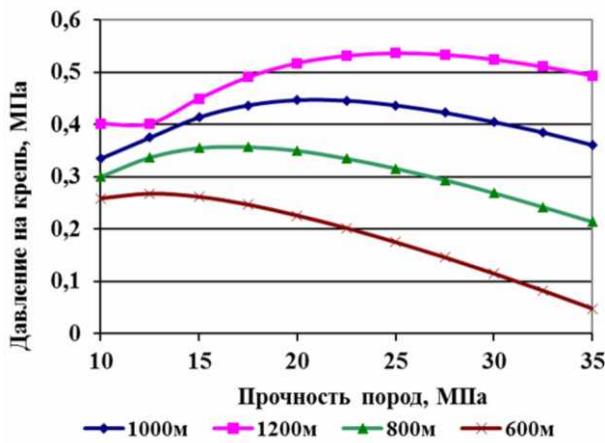


Рисунок 6 – Давление горных пород на крепь ствола

4. Определены особенности формирования пустотности подработанного массива в условиях пологого и крутого залегания горных пород.

Разработан и реализован новый интегральный поход к оценке пустотности подработанного массива в различных горно-геологических условиях и горнотехнических ситуациях. Установлены типовые закономерности изменения коэффициента остаточной пустотности в зависимости от геометрии выработанного пространства, что свидетельствует об универсальности предложенной методики, которая может быть использована при решении широкого ряда практических гидрогеомеханических задач.

Предложенный подход позволяет оценивать остаточную пустотность как отдельных горных выработок, так и выработанного пространства в масштабах горнодобывающего предприятия и групп шахтных полей, что важно при решении практических гидрогеомеханических задач по ликвидации кустов шахт методом мокрой консервации.

5. Проведена оценка влияния многократной долгосрочной подработки на изменение проницаемости массива горных пород.

Установлено, что долгосрочная многократная подработка угольных пластов в условиях крутого падения приводит к образованию в массиве горных пород чередующихся пространственно-сопряженных зон сжатий и растяжений, замещающих друг друга в процессе ведения горных работ и генерирующих квазирегулярную сеть вертикально ориентированных техногенных коллекторов (см. рисунок 7). Техногенные коллекторы представляют собой области повышенной проницаемости, возникшие в результате воздействия предельных и запредельных горизонтальных деформаций растяжения, и являются миграционными коридорами. Выявленные зоны сжатий и растяжений, представляют собой приблизительно равные по площади области, характеризующиеся близкими по абсолютной величине значениями и приблизительно равным пространственным шагом чередования в пределах каждого рассматриваемого временного периода.

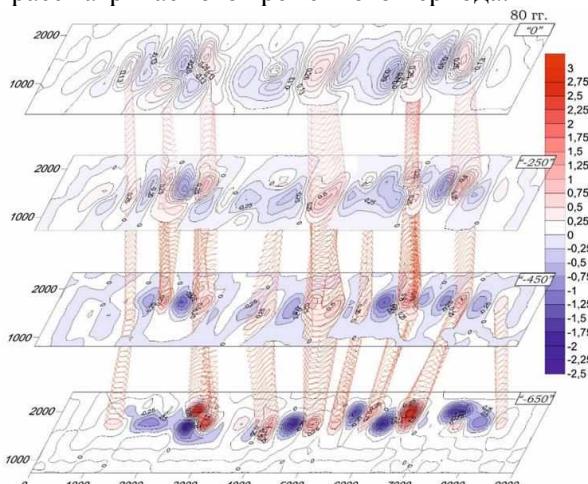


Рисунок 7 – Вертикально ориентированные техногенные коллекторы (1980-е годы)

Для оценки изменения проницаемости трещиноватой среды под воздействием предельных и запредельных деформаций проведено имитационное моделирование. Идеей эксперимента является установление влияния запредельных деформаций, проявляющихся в единичных «зияющих» трещинах на изменение фильтрационных характеристик горных пород с различными структурными особенностями строения (начальной проницаемости, общей пористости и плотности «зияющих» трещин). Относительные изменения проницаемости горных пород с различной начальной густотностью трещин при единичной плотности трещин разрыва представлены на рисунке 8.

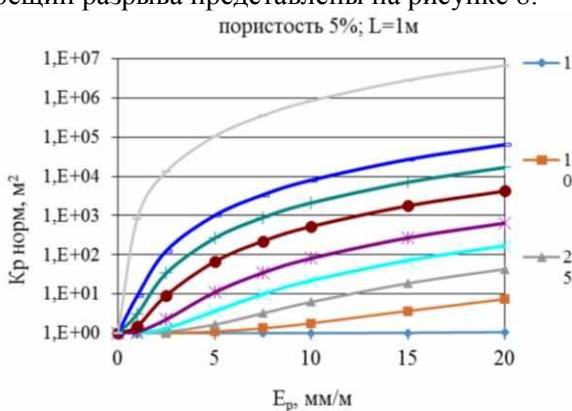
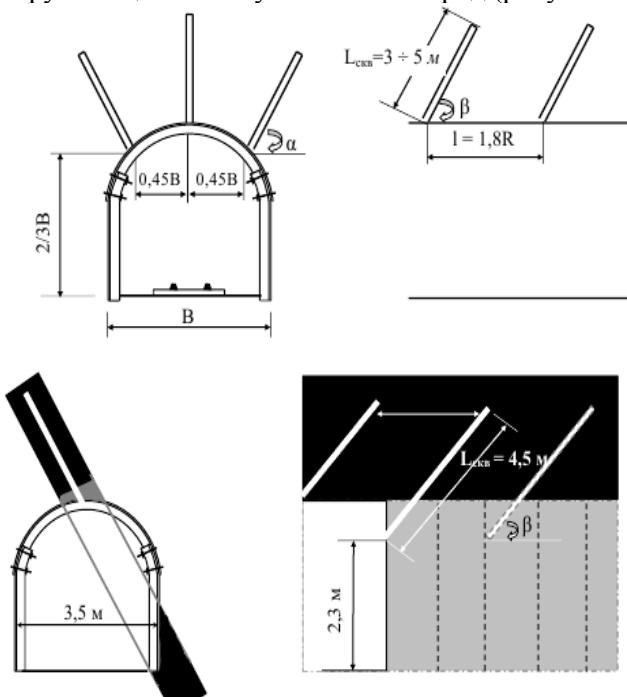


Рисунок 8 – Относительные изменения проницаемости горных пород с различной начальной густотностью трещин при единичной плотности трещин разрыва

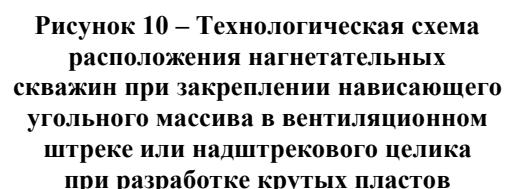
Установлено, что имеет место принципиально различный характер изменения проницаемости при до и запредельном деформировании горных пород. Слабопроницаемые, весьма слабопроницаемые и почти непроницаемые породы наиболее уязвимы к воздействию «больших» деформаций растяжения и изменяют проницаемость до семи порядков. Хорошо проницаемые горные породы под воздействием предельных и запредельных деформаций существенно не меняют своих свойств, а происходящие изменения относительно малы. Установлено, что при подработке по трем и более пластам значения горизонтальных деформаций растяжения достигают на некоторых участках  $5 \div 7$  мм/м, оказывая достаточное деформационное воздействие для принципиального изменения фильтрационных характеристик вмещающих пород.

Разработан и реализован инкрементальный подход для временной оценки трансформаций полей напряжений, деформаций и проницаемости массива горных пород в процессе подработки, который является базисом для оценки изменения (эволюции) фильтрационных характеристик массива горных пород условиях многократной систематической долговременной подработки массивов. Разработана модель проницаемости многократно подработанного обводненного массива горных пород.

6. Разработаны технологические схемы и параметры эффективного закрепления легко обрушающихся и неустойчивых пород (рисунки 9, 10).



**Рисунок 9 – Технологическая схема расположения нагнетательных скважин для закрепления трещиноватых неустойчивых пород при проведении или восстановлении (перекреплении) горных выработок**



**Рисунок 10 – Технологическая схема расположения нагнетательных скважин при закреплении нависающего угольного массива в вентиляционном штреке или надштрековом целике при разработке крутых пластов**

**«Комплексный гидрогеологический прогноз последствий затопления горных выработок ООО «Шахта Ростовская» и гидравлически связанных шахт «Антрацит» и «Замчаловская».**

В результате выполнения работы получены следующие результаты:

1. На основе проведенного анализа данных о притоках, целиках и имеющихся гидравлических связях выполнен расчет объемов выработанного пространства, сроков затопления горных выработок и определено местоположение возможного самоизлива шахтных вод на поверхность с определением возможного объема излива.
2. Выполнен расчет сдвижения и деформаций земной поверхности при активизации процесса сдвижения от затопления выработанного пространства шахт.
3. Установлено, что в случае отключения подземной водоотливной установки на ООО «Шахта Ростовская» произойдет затопление выработанного пространства всей группы шахт. Уровень затопления шахт ООО «Шахта Ростовская» и «Замчаловская» остановится на абсолютной отметке плюс 210 м. На шахте «Антрацит» установившийся с апреля 2022 года уровень затопления на абсолютной отметке плюс 227 м существенно не изменится.

Время затопления выработанного пространства при среднегодовой величине притока 484,8 м<sup>3</sup>/час составит 2,6 года, средняя скорость поднятия шахтных вод составит 0,29 м/сут. Время затопления выработанного пространства при максимальной величине притока 555,2 м<sup>3</sup>/час составит 2,2 года, средняя скорость поднятия шахтных вод составит 0,33 м/сут.

Разгрузка остаточного притока шахтных вод трёх ликвидируемых шахт «Антрацит», «Ростовская» и «Замчаловская» не окажет влияния на подтопление домовладений поселка Алмазный.

1. В результате выполненных исследований проведено обследование устьев 78 горных выработок, имеющих выход на земную поверхность и участков близкого к поверхности расположения горных выработок, определено, картировано на планах поверхности и визуализировано в геоинформационной системе *Google Earth* (рисунок 11) 48 провалоопасных зон земной поверхности. При обследовании указанных зон было выявлено 5 провалов на земной поверхности. Для обеспечения безопасной жизнедеятельности на техногенно-нагруженных территориях, на основе методов искусственного интеллекта, определены риски провалообразования в выделенных зонах.



**Рисунок 11 – Поле шахты «Ростовская» с провалоопасными зонами**

#### **«Прогноз долговременной геомеханической устойчивости вертикального вентиляционного ствола шахты «Индустрия» № 71 Шахтоучастка № 5 при использовании его в защитном водоотливном комплексе».**

При выполнении этой работы решены следующие задачи:

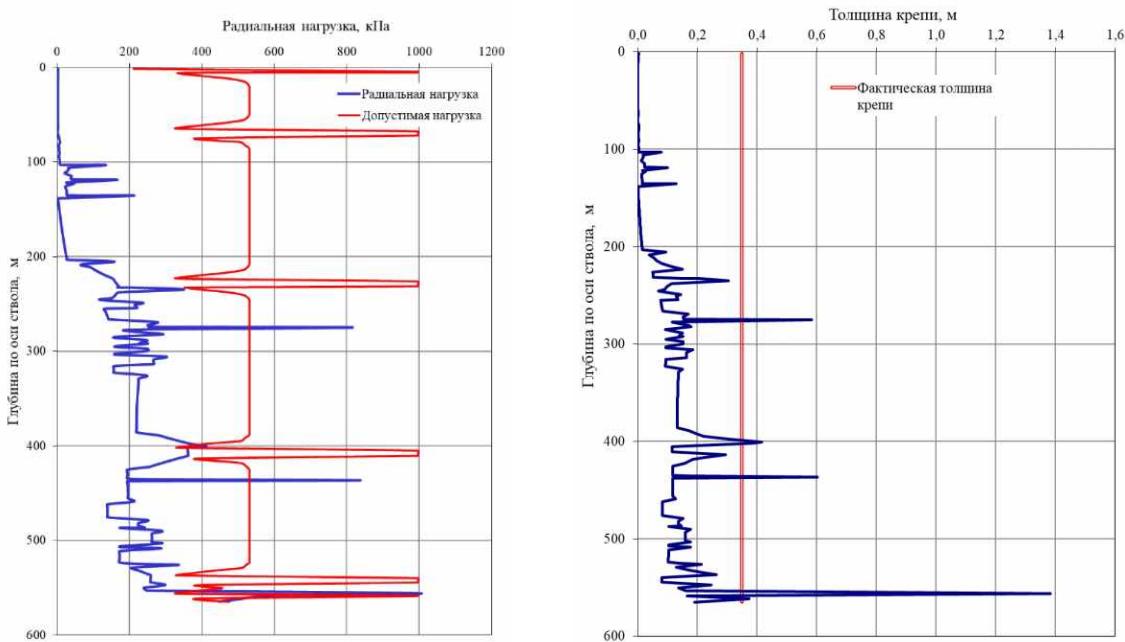
1. На основе результатов проведенного телеметрического обследования (рисунок 12) выполнена оценка фактического состояния крепи ствола, сопряжений с вентиляционным каналом с сопоставлением расчетных и фактических оценочных характеристик.



**Рисунок 12 – Стоп-кадр телеметрического обследования – горизонт минус 296,9 м**

2. Разработана модель затопления вертикального вентиляционного ствола шахты «Индустрия» №71 Шахтоучастка №5 и выполнена оценка влияния уровней затопления на его геомеханическую устойчивость (рисунок 13).

3. Выполнен прогноз долговременной геомеханической устойчивости крепи ствола и проверка ее соответствия горно-геологическим и геомеханическим условиям поддержания с определением расчетной балльной оценки состояния крепи ствола. Разработаны рекомендации по обеспечению устойчивости ствола для использования в водоотливном комплексе.



**Рисунок 13 – Графики радиальных нагрузок и расчетной крепи вертикального ствола шахты «Индустрия» №71 Шахтоучастка №5**

Также в рамках хоздоговорных работ были проведены экспериментальные и модельные исследования по изучению деформирования обводненных массивов, на участках шахт Торезско-Снежнянского района «Рассвет», № 3-бис, с целью обеспечения гидробезопасности соседних действующих шахт («Прогресс», «Комсомолец Донбасса»). В результате:

- разработаны рекомендации по отработке части запасов каменного угля 13-й западной лавой пласта l7 блока № 3бис в предохраниительном целике под вентиляционный ствол № 3;
- разработаны рекомендации для восстановления несущей способности устьевой зоны и долговременной устойчивости вентиляционного ствола шахты №3-бис;
- выполнена оценка фактического состояния крепи вентиляционного ствола шахты «Рассвет» и определена фактическая отметка уровня затопления;
- произведена оценка последствий затопления ООО «Шахта «Рассвет-1» для двух случаев: по оптимистичному значению водопритока в  $160 \text{ м}^3/\text{ч}$  и по пессимистичному значению в  $240 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Наиболее значимые результаты по направлению «Исследования деформаций породного массива и земной поверхности, влияния горных работ на подземные и наземные сооружения и разработка мероприятий их защиты»:

**«Разработка геомеханических основ защиты объектов поверхности в условиях сложной структуры рельефа подрабатываемых территорий и исследование формирования зон интенсивных деформаций горного массива» (FRSR-2023-0002)**

Основные научные и практические результаты заключаются в следующем.

1. В результате анализа имеющихся данных по вопросам определения состояния зданий и сооружений в различных горно-геологических и горнотехнических условиях установлены особенности и выполнена классификация строения вмещающего угольные пласты породного массива.

2. При разработке математической модели деформирования земной поверхности на подрабатываемых склонах мезорельефа было выполнено следующее:

- разработана общая схема учёта влияния мезорельефа на расчёт деформаций земной поверхности с использованием цифровой модели рельефа (рисунок 14);

- использованы функции влияния в прогнозе сдвигений и деформаций поверхности мезорельефа;

- создана модель прогноза сдвигений и деформаций земной поверхности по склону мезорельефа в главных сечениях мульды сдвига (рисунок 15);

- создана модель прогноза сдвигений и деформаций земной поверхности по склону мезорельефа в произвольном направлении.

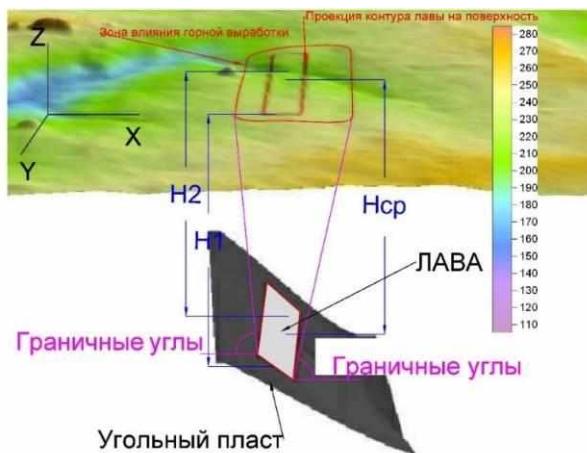


Рисунок 14 – Схема учёта влияния мезорельефа, где динамическая глубина разработки определяется с использованием цифровой модели рельефа

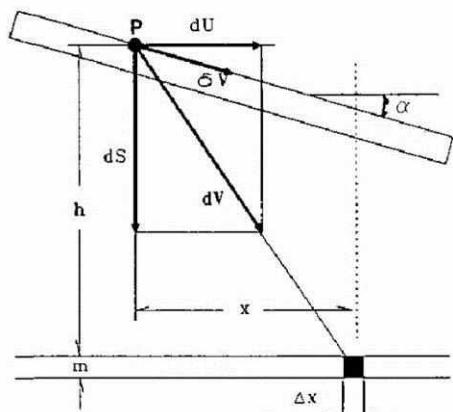
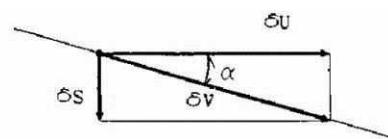
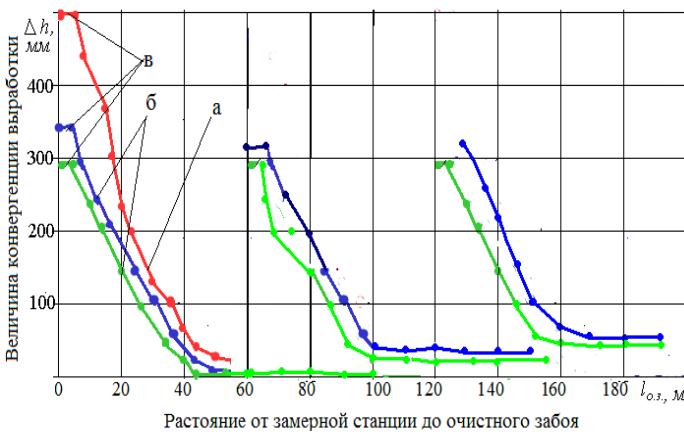


Рисунок 15 – Схема сдвига поверхности на склоне мезорельефа

3. Разработан алгоритм реализации математической модели деформирования земной поверхности на подрабатываемых склонах мезорельефа, в котором представлены структура исходной информации для прогноза сдвигений и деформаций подрабатываемых склонов мезорельефа; цифровая модель рельефа поверхности горного отвода шахты для прогноза сдвигений и деформаций и общий алгоритм прогноза подвижек земной поверхности по выбранному направлению на склоне мезорельефа.

4. В результате проведенных экспериментальных исследований проявления горного давления в призабойном пространстве в процессе движения и после остановки лав были установлены зависимости проявления горного давления до и после остановки очистных работ (рисунок 16).



**Рисунок 16 – Изменения конвергенции конвейерной выработки впереди забоя**

(*а – первичная посадка основной кровли; б – вторичные посадки основной кровли; в – участки остановки конвергенции*)

Наиболее значимые результаты по направлению «Изучение строения и геодинамики литосферы геолого-геофизическими методами с целью поисков месторождений полезных ископаемых и прогноза горно-геологических условий их эксплуатации и экологических изменений окружающей среды»:

**«Разработка геолого-геофизической модели формирования аномальных скоплений метана на угольных шахтах в зонах динамического влияния разломов» (FRSR-2023-0007)**

Основные научные и практические результаты заключаются в следующем.

1. На основе математического моделирования процесса распространения и регистрации сейсмических волн при решении задач прогноза скоплений метана методами активной и пассивной сейсмики установлены информативные параметры волнового поля, анализ которых позволяет делать вывод о наличии зоны разуплотнения. В частности, установлены основные формы проявления зон вероятного скопления метана на сейсмических разрезах ОГТ и изображениях, полученных по методу дифрагированных волн. Дан анализ границам применимости данных подходов.

2. При исследовании вопроса петрофизического обеспечения геофизических исследований аномальных скоплений метана предложен коэффициент аномальности удельного электрического сопротивления и расчет скоростных параметров, опирающийся на генетические и катагенетические закономерности изменения скорости распространения продольных упругих волн, уравнения Уайлли и добротности, фрагментарные данные по отдельным разломам Донбасса и горных пород в камере высокого давления. Установлено, что признаками аномальных скоплений свободного метана в коллекторах трещинного типа является величина указанного коэффициента, равная и более 2, а также уменьшение скорости распространения продольных и поперечных упругих волн относительно фона на 35-45%. Показано, что места локации микросейсм, связанные с аномальными скоплениями метана, могут располагаться в зонах локального изменения напряженного состояния разлома в местах изгиба его смесятеля.

3. В результате исследований структурно-тектонических условий шахтного поля выявлено, что наиболее интенсивные газопроявления в скважинах расположены в зонах шарнирного перегиба верхнего крыла Калиновской флексуры или в центральной сводовой части Калиновского купола. Также установлено, что тектонически наиболее активным является Французский надвиг и следующий за ним Итальянский надвиг.

4. При радионометрическом исследовании зоны динамического влияния разлома в связи с газоносностью угольных пластов установлено, что аномально высокое давление газа, обусловившее образование положительных аномалий газоносности в широком стратиграфическом диапазоне, связано с областью сжатия, выделяемой по аномально низким значениям содержания радона в подпочвенном слое (рисунок 17). Указанное сочетание аномалий свидетельствует о благоприятных условиях образования аномальных скоплений метана.

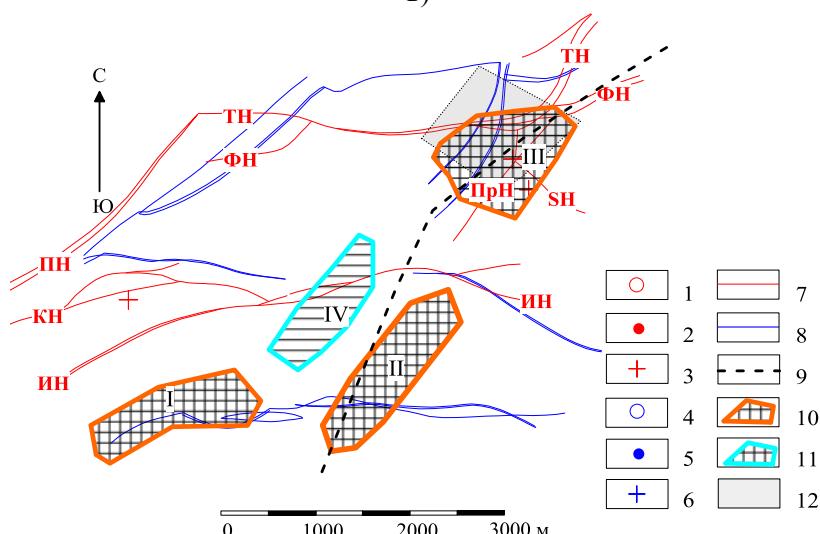
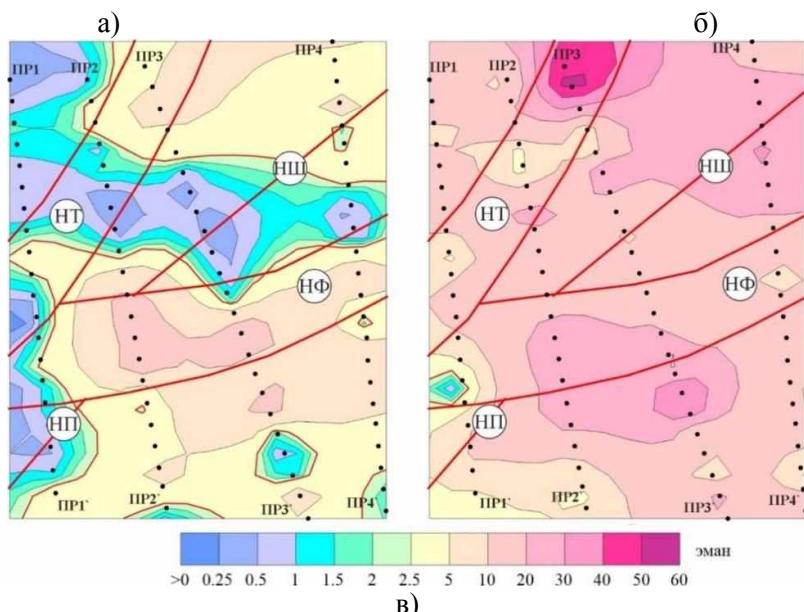


Рисунок 17 – Зональное распределение аномалий радона (а), торона (б)

и газоносности угольных пластов (в) на поле шахты «Калиновская Восточная»

1-3 – положительные аномалии в свитах: 1 –  $C_2^7(M)$ ; 2 –  $C_2^6(L)$ ; 3 –  $C_2^5(K)$ ; 4-6 – отрицательные аномалии в свитах: 4 –  $C_2^7(M)$ ; 5 –  $C_2^6(L)$ ; 6 –  $C_2^5(K)$ ; 7 – разломы на земной поверхности; 8 – разломы в угольном пласте k<sub>8</sub>; 9 – ось Макеевской синклинали; 10-11 – зоны аномалий: 10 – положительных; 11 – отрицательных; 12, а), б) – участок геофизических работ; надвиги: ПН – Первомайский; ТН – Тимошенко; ФН – Французский; КН – Калиновский; ИН – Итальянский; ПрН – Промежуточный; SH – «S»; НШ – шахтный; КС – Калиновский сброс; I-IV – номера зон многопластовых аномалий газоносности

## 2.16. ИНСТИТУТ ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ И ГЕОФИЗИКИ - МЕЖОТРАСЛЕВОЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР ГЕОМЕХ

### Горное недроведение

#### Геомеханика

В 2023 г. продолжалось выполнение научно-исследовательской работы по изучению свойств и состояния угольного пласта склонного к горным ударам на шахте «Северная» АО «Ургалуголь» в условиях отработки пласта B<sub>26</sub>, склонного к горным ударам. Исследования проводились на регулярной основе с 2015 г. Контроль напряженно-деформированного

состояния массива осуществлялся с применением геофизического мониторинга с помощью фиксации естественной электромагнитной эмиссии (ЕЭМИ). Указанный метод используется для качественного анализа НДС массива при перераспределении горного давления во время ведения подготовительных и очистных работ. Исследования проводились на участках с различными горнотехническими (передовые выработки, зоны ПГД, наличие различных вариантов крепи выработок, рабочего электрооборудования) и горно-геологическими (нарушения и т.д.) условиями. Это позволило установить степень влияния этих условий на показания прибора при измерениях и своевременно, на этапе анализа, провести выбраковку некачественных измерений (с наводками).

По пласту В<sub>26</sub> проводится ежегодное определение критической глубины (по данным ФФС) возможного проявления горного давления в динамической форме, что совместно с геофизическим контролем позволяет обеспечивать безопасное ведение горных работ на шахте. В результате анализа данных наблюдений, и с целью обеспечения контроля работы очистных и подготовительных забоев в приближенных к границе удароопасности областях, расчетный метод установления границы удароопасности по глубине ведения горных работ был подкреплен периодическим контролем и текущей оценкой геодинамического состояния массива горных пород в местах ведения работ на максимальных глубинах (у границ удароопасности).

### **Подземная геотехнология**

На основании проведенных опытно-промышленных испытаний арочных податливых металлических крепей КМОП-А3-15,65 из гнутых профилей производства ПАО «Северсталь» в подземных горных выработках Яковлевского рудника было разработано «Дополнение к Технологическому регламенту крепления горных выработок в условиях Яковлевского месторождения».

Определены параметры, и условия применения арочной податливой металлической крепи для различных горно-геологических и горнотехнических условий Яковлевского месторождения, в том числе возможность использования гнутого профиля для крепления со-пряжений в рудном массиве и на рабочих слоях. На основании выполненных аналитических расчетов, а также учитывая положительный результат проведенных опытно-промышленных испытаний крепи внесены следующие изменения (дополнения):

- при фактической прочности закладки в вышележащей выработке менее нормативной (но не менее 1,0 МПа) без нарушения армировки, крепление производить металлической податливой крепью (КМП) или КМоП;

- при соответствии фактической прочности закладки в вышележащей выработке нормативной, с нарушением горизонтальной распределительной арматуры на площади более 20 м<sup>2</sup>, крепление производить АКР, КМП или КМоП.

Также был выполнен расчет допустимого отставания крепи от забоя при проходке выработок буровзрывным и комбайновым способом и внесены изменения для одиночных выработок лежачего бока, проводимых как вкrest простирания, так и по простираннию, для выработок, проводимых в рудном массиве и для выработок основных слоев, проводимых под неармированным закладочным массивом с минимальной прочностью 1 Мпа. Полученные результаты данной НИР будут использованы при планировании и проектировании горных работ на Яковлевском руднике и распространяться на горно-капитальные, горно-подготовительные выработки в рудном и породном массиве, нарезные и очистные выработки в рудном массиве.

### **Теория проектирования освоения недр**

Опыт исследовательских работ ученых института ГЕОМЕХ в условиях Новомосковского месторождения гипса насчитывает более 50-и лет. Наблюдения 2023 года проводили с целью исключения негативного влияния возможного поступления воды в горные выработки шахты со стороны соседствующих объектов на технологические процессы добычи гипсового камня в условиях Новомосковского месторождения гипса.

При анализе безопасности горных работ вблизи потенциально опасных участков по прорывам воды необходимо оценивать безопасность ведения работ в подземных горных выработках по следующим направлениям:

- минимизация водопритоков в горные выработки;

- оценка возможности прорыва воды в горные выработки;
- своевременное обеспечение ограничения доступа воды в действующие горные выработки путем возведения водоупорных перемычек с параметрами и конструкцией, соответствующей нагрузкам создаваемым столбом воды.

Несмотря на тот факт, что в условиях предложенных мест возведения водоупорных перемычек активные горные работы были окончены 50-60 лет назад, вопрос наличия и геометризации трещин в приконтурном массиве актуален, т.к. даже в условиях относительно небольших деформаций, их действие выражается или в образовании микротрещин или прорастании трещин, не оказывающих существенного влияния на породы в нетронутом массиве. Однако при воздействии горных работ, прежде всего буровзрывных, происходит прорастание и раскрытие трещин. С виду монолитная порода превращается в блочную, а устойчивая кровля и стенах выработки в неустойчивую. С другой стороны, давление снизу в слабых породах почвы при наличии потенциальных зародышей трещин может вести к разлому почв.

Данные о фактической трещиноватости массива, в предполагаемых местах установки водоупорных перемычек показали, что в основном все выявленные техногенные трещины заполнены вторичным карбонатным материалом и каких-либо глобальных нарушений сплошности массива не выявлено. При этом, наличие вскрытого пласта мергеля в почве ставило под сомнение долговечность использования водоупорной перемычки с максимальной эффективностью. В результате оценки многочисленных факторов разработаны основные требования к местам возведения водоупорных перемычек, проведен расчет технических параметров и определен конструктив водонепроницаемых перемычек. разработаны рекомендаций по устройству и эксплуатации перемычек в течение всего срока их действия.

### **Физико-техническая геотехнология**

Проблема горных ударов при разработке Баренцбургского угольного месторождения существует около 50 лет. На разных этапах освоения месторождения, ее актуальность проявлялась в большей или меньшей степени.

Постановка специальных исследований на шахте, разработка и внедрение комплекса мероприятий по предотвращению горных ударов позволили повысить безопасность работ. Уточнение значимых изменений параметров геологической среды заключалась в определении:

- а) параметров расслоения пород основной кровли;
- б) качественной и количественной оценки деформационных процессов в краевой части массива горных пород;
- в) НДС угольного пласта, с помощью прогноза удароопасности по выходу буровой мелочи, контроль глубины механического внедрения бойка динамического пробника, геофизических методов: микросейсмического и естественной электромагнитной эмиссии;
- г) характера развития геомеханических процессов, регистрируемых в виде сейсмических событий (микросейсмический метод, дополненный локализацией с помощью естественной электромагнитной эмиссии), в зависимости от выполняемых работ в очистном забое;
- д) исследования особенностей распределения геомеханических и геофизических полей в массиве горных пород.

Знания, полученные в ходе научно-исследовательских изысканий, сегодня и с перспективой работ 2024–2032 гг., используются в качестве основы безопасной отработки исторически более опасного (с геодинамической точки зрения) северного крыла шахтного поля. Наработки эксплуатации горных объектов в условиях сверхтяжёлых кровель реализованы в условиях низких темпов добычи, что не исключает расширения для высокопроизводительных забоев. Своевременная оценка рисков свойственных текущим горно-геологическим и горнотехническим условиям лежит во всестороннем, многопараметрическом исследовании состояния горного массива.

### **Практическая реализация результатов исследований**

В 2023 г. продолжалась реализация результатов исследований. Заключения и рекомендации выдавались для условий практических всех угольных, рудных и нерудных месторождений на территории Российской Федерации и для проектных организаций по различным вопросам в области безопасной добычи подземными и открытыми горными работами.

Так, научно-технические работы были выполнены для условий шахт Ростовской области в части оценки степени влияния горных работ, возможного влияния шахтных вод ликвидированных шахт на техническое состояние жилых домов и построек, расположенных на подработанных территориях.

Так, например, для условий шахты ООО «КНАУФ ГИПС НОВОМОСКОВСК» разработано «Заключение по расчету параметров и определению конструктива водонепроницаемых перемычек в горных выработках Панели №1». Выполнен анализ горно-геологических, горнотехнических условий разработки Новомосковского месторождения гипса, исходных данных Заказчика и полученных результатов обследования.

В рамках данной работы, специалистами «МНЦ ГЕОМЕХ» в присутствии и практической помощи специалистов МГС шахты ООО «КНАУФ ГИПС НОВОМОСКОВСК», были проведены визуальные и видео обследования (собран фактический материал), который позволил более точно определить параметры водоупорных перемычек, с учетом данных о фактической трещиноватости массива в предполагаемых местах их установки. Разработано «Заключение по расчету параметров и определению конструктива водонепроницаемых перемычек в горных выработках Панели №1 шахты ООО «КНАУФ ГИПС НОВОМОСКОВСК», в котором изложены конкретные рекомендации и требования к выбору местоположения изоляционных перемычек, их конструкция и расчет параметров перемычек, а также рекомендации по устройству и эксплуатации перемычек.

## **2.17. ИНСТИТУТ «ЯКУТНИПРОАЛМАЗ» АК «АЛРОСА» (ПАО)**

Численность научно-исследовательской части института «Якутнипроалмаз» АК «АЛРОСА» (ПАО) (далее – Институт) составляет 114 человек, включая 1 доктора технических наук и 16 кандидатов наук, в том числе: к.т.н. – 11, к.ф.-м.н. – 1, к.г.-м.н. – 3, к.э.н. – 1.

В состав научно-исследовательской части института входят:

1) комплексные отделы:

- подземных горных работ (включает:

- лабораторию технологий подземных горных работ;
- лабораторию технологий закладки;
- сектор разработки и оптимизации схем вентиляции подземных рудников);

- обогащения (включает:

- лабораторию рудоподготовки и основных методов обогащения;
  - лабораторию радиометрической сепарации;
  - сектор исследования качества алмазной продукции и методов контроля;
  - сектор флотационных методов обогащения и осветления оборотных вод);
- горно-геологических проблем разработки месторождений (включает сектора:
- гидрогеологического и гидродинамического моделирования;
  - изучения и прогноза нефтегазопроявлений на горных предприятиях;
  - гидрогеологических исследований;
  - газодинамических явлений;
  - геофизических исследований;
  - гидротехнический);

2) технико-экономический блок (включает лаборатории:

- прогнозирования;
- экономико-управленческих исследований и нормативов;
- технико-экономических обоснований кондиций и инвестиций);

3) отдельные специализированные лаборатории:

- автоматизации технологических процессов;
- геомеханики;
- транспортных систем на горных предприятиях;
- оптимизации открытых горных разработок;
- интеллектуальной собственности;
- анализа состояния окружающей среды (включает сектора:

- гидрохимических исследований;
  - исследования воздушной среды;
  - сопровождения системы менеджмента качества);
- 4) отдельные специализированные сектора:
- разрушения горных пород;
  - норм и нормативов горного оборудования.

### **Основные научные темы**

Научно-исследовательская часть института – это центр передовых инженерно-технических, научных компетенций в сфере разработки месторождений алмазов открытым и подземным способом, обогащения алмазосодержащих руд.

Исследования, выполняемые институтом, направлены на решение самых сложных стратегических и ключевых проблем, возникающих перед Группой АЛРОСА, в том числе:

- отсутствие экономически эффективных технологий отработки месторождений;
- рост затрат на добычу природных алмазов;
- ухудшение горно-геологических условий с глубиной отработки месторождений;
- эксплуатация гидротехнических сооружений;
- воздействие на окружающую среду;
- необходимость обеспечения безопасности, устойчивости и эффективности основного производства;

- высокая степень техногенной повреждаемости алмазов.

В отчетном периоде выполнены (завершены):

- 1 научно-исследовательская и опытно-конструкторская работа;
- 31 технологическая работа;
- оказаны 163 инженерно-технических услуги, имеющие большое значение для обеспечения безопасности, устойчивости и эффективности горнодобывающего производства, в том числе наиболее важные разработки и научные исследования в следующих областях:
  - ведение горных работ открытым и подземным способами;
  - обеспечение безопасных горно-геологических условий отработки месторождений;
  - обеспечение безопасной эксплуатации гидротехнических сооружений;
  - обеспечение безопасности, устойчивости и эффективности основного производства;
  - обогащение алмазосодержащих руд;
  - снижение техногенной повреждаемости алмазов;
  - охрана окружающей среды;
  - автоматизация управления технологическими процессами добычи и обогащения алмазосодержащих руд.

### **В результате научно-исследовательской деятельности внедлено в производство:**

6 научно-технических мероприятий, в том числе на объектах Мирнинско-Нюрбинского ГОК – 2, Удачнинского ГОК – 4.

В 2023 г. на правообладателя АК «АЛРОСА» (ПАО) получено 26 охранных документов: - 4 патента Российской Федерации, 2 зарубежных патента на изобретения; - 19 свидетельств Российской Федерации на программы для ЭВМ; - 1 свидетельство Российской Федерации на базу данных.

Наиболее важные результаты научно-исследовательских работ института, выполненных в 2023 г. в области горных наук, следующие.

### **1. Поиск технологических решений для отработки запасов трубы Юбилейная подземным способом с учётом ускоренных темпов строительства вскрывающих выработок, отработки месторождения**

*Исполнители:*

Тишков М.В., начальник комплексного отдела подземных горных работ, к.т.н.

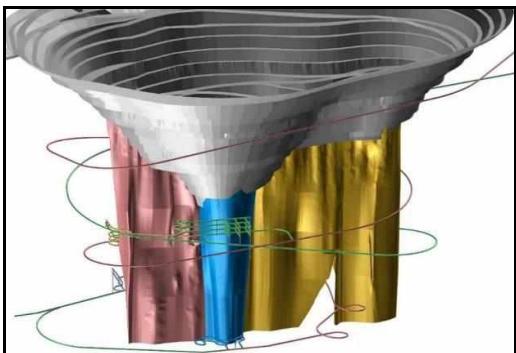
Семёнов Д.П., главный специалист лаборатории технологий подземных горных работ.

В ходе выполнения работы исполнителями пересмотрены основные подходы к вскрытию и отработки запасов трубы Юбилейная подземным способом.

*Достигнуты следующие результаты:*

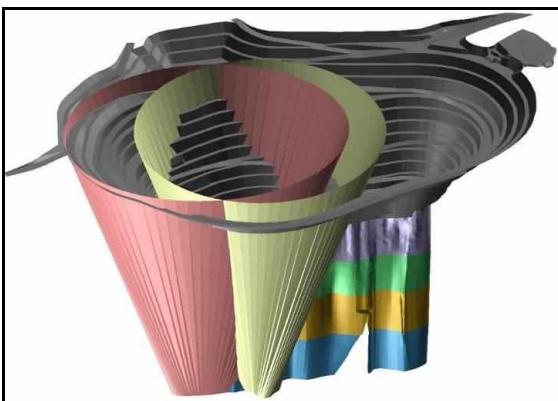
Вскрытие месторождения рекомендовано производить в два этапа: I этап - механизированная проходка вскрывающих уклонов с применением тоннелепроходческих механизированных комплексов, II этап - буровзрывным способом с учетом погашения запасов верхних горизонтов и восполнением выбывающих мощностей с помощью вовлечения запасов нижних горизонтов.

В предложенном варианте месторождение вскрывается двумя уклонами с дневной поверхности, вертикальные вскрывающие выработки отсутствуют. Схема вскрытия представлена на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Схемы вскрытия  
вскрывающими уклонами с дневной  
поверхности**

При рассмотрении трассировок вскрывающих уклонов главным аспектом являлось их расположение вне зоны сдвижения. Для этого от самой глубокой отметки (-680 м) ведения очистных работ под углом 75° были отстроены зоны сдвижения, рисунок 2.



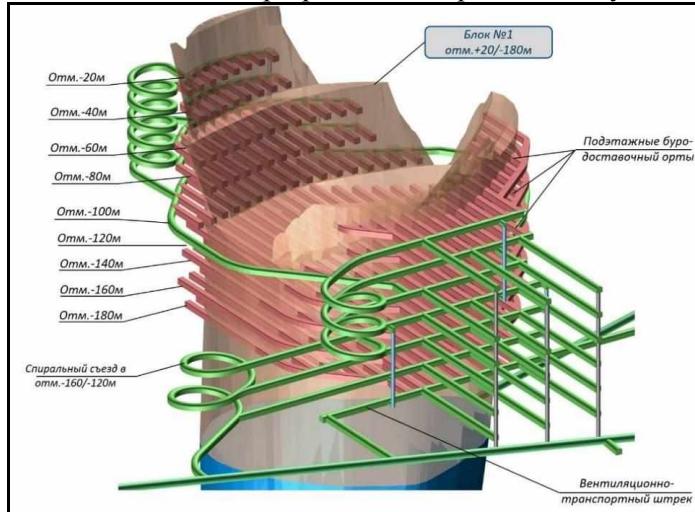
**Рисунок 2 – Зоны сдвижения  
на заключительной стадии  
отработки месторождения**

Капитальные вскрывающие выработки располагаются за потенциальной областью сдвижения горных пород с учетом конечной глубины разработки месторождения. Таким образом обуславливается удаленность расположения конвейерного уклона и наклонного съезда относительно рудного тела. Такое расположение основных вскрывающих выработок позволит их безопасно эксплуатировать на всем жизненном цикле месторождения. Анализ отстроенных зон показывает, что в результате подземной отработки существующие поверхностные объекты промплощадки не попадают в зону подработки.

Схема вскрытия и трассировка вскрывающих выработок ориентированы таким образом в пространстве, чтобы обеспечить разделение месторождения на 3 этажа. Первый этаж заключен в интервале отм. -100/-180 м. Второй этаж ограничен отметками -180/-430 м. Третий этаж соответственно в интервале отметок -430/-680 м. Такой подход обусловлен, исходя из обоснованной высоты этажа (блока) 250 м и необходимости максимально сжатых сроков для начала очистной выемки вне зависимости от рассматриваемых вариантов отработки месторождения: только запасов Центрального рудного столба и варианта с частичной отработкой Западного рудного столба. Помимо того, в случае если открытые горные работы будут осложнены горно-геологическими условиями, и отработка карьера не достигнет проектной глубины (отм. -100 м), предложенная схема вскрытия позволит выполнить подготовку запасов для их последующей отработки из подземных горных выработок.

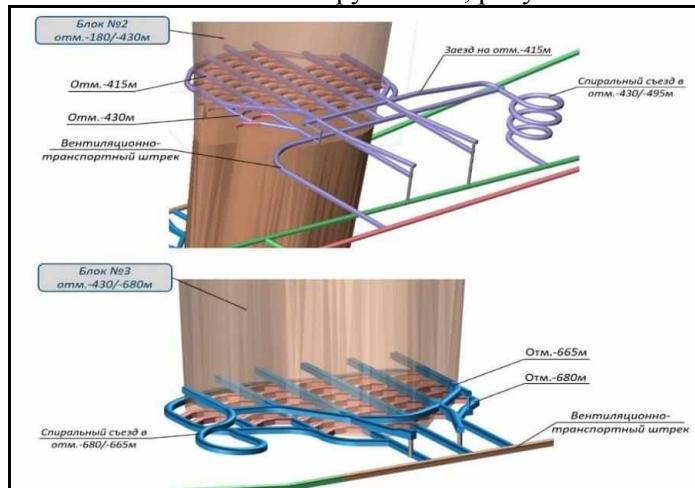
По результатам геомеханических расчётов с учётом сроков отработки каждого очистного блока определено, что высота блока может быть принятой 250 м. Данное условие позволяет сократить объемы горно-подготовительных и нарезных работ.

Для обеспечения сроков сокращения отработки на первом этапе предусмотрена отработка подкарьерных запасов системой разработки с торцевым выпуском, рисунок 3.



**Рисунок 3 – Система разработки с торцевым выпуском руды.**  
**Основные параметры: высота подэтажа – 25 м, расстояние между буро-доставочными ортами – 12 м**

Это условие позволяет в короткие сроки приступить к отработке запасов, при этом параллельно осуществлять строительство и отработку нижних блоков, отработка которых предусмотрена системой с блоковым самообрушением, рисунок 4.



**Рисунок 4 – Система разработки с блоковым самообрушением.**  
**Основные параметры: высота блока – 250 м, расстояние между доставочными ортами – 30 м, расстояние между погрузочными заездами – 15 м**

Расчётами и заверочным моделированием уточнены показатели потерь и разубоживания для каждого эксплуатационного блока в зависимости от вариантов отработки. Результаты показали следующее:

- при системе подэтажного обрушения (блок №1) высота блока 200 м (отм.+20/-180 м): потери – 11,83%, разубоживание – 22,09%;
- при системе блокового самообрушения высота блока 250 м - блоки №2, №3 (отм.-180/-430 м, -430/-680 м) потери – 9,33%, разубоживание – 12,03%.

Производственная мощность подземного рудника «Юбилейный» составит 2-2,5 млн. т/год.

Определены условия, необходимые для инициации процесса самообрушения. При достижении площади подсечённого пространства на величину порядка 5400 м<sup>2</sup> начинается активация процесса самообрушения. Гидравлический радиус при этом составляет 18 м.

Определены варианты возможного формирования предохранительной подушки. По мнению разработчиков, для формирования подушки, рекомендуется комбинированный вариант – формирование предохранительной подушки на дне карьера в границах ЦРС путем обрушения с помощью буровзрывных работ части запасов как Восточного рудного столба, так и Западного. Такое решение позволяет сократить уровень безвозвратных потерь балансовых запасов Центрального рудного столба, а также позволит «разубоживать» погашаемые запасы забалансовой кимберлитовой рудой с меньшим содержанием алмазов.

## **2. Поиск технологических решений для отработки подкарьерных запасов подземного рудника «Айхал»**

*Исполнители:*

*Тицков М.В.*, начальник комплексного отдела подземных горных работ, к.т.н.

*Семёнов Д.П.*, главный специалист лаборатории технологий подземных горных работ.

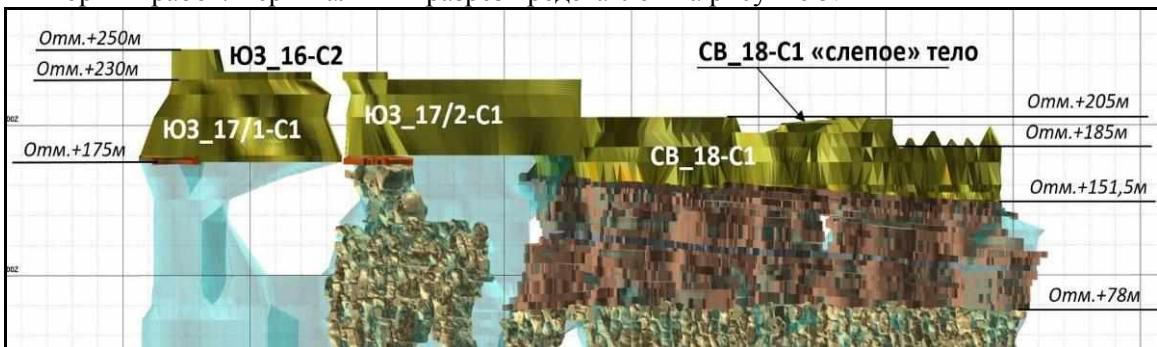
*Коновалов Г.А.*, ведущий инженер лаборатории технологий подземных горных работ.

По техническим решениям отработки подкарьерных запасов месторождения трубы Айхал в отм. +230/+151 м авторами работы рекомендовано следующее.

Подготовку запасов следует осуществлять из ранее пройденных выработок гор. +100 м и гор. +180 м.

Выемка подкарьерных запасов предусмотрена системой подэтажного обрушения с торцевым выпуском руды, показатели потерь – 13%, разубоживание – 21,7%.

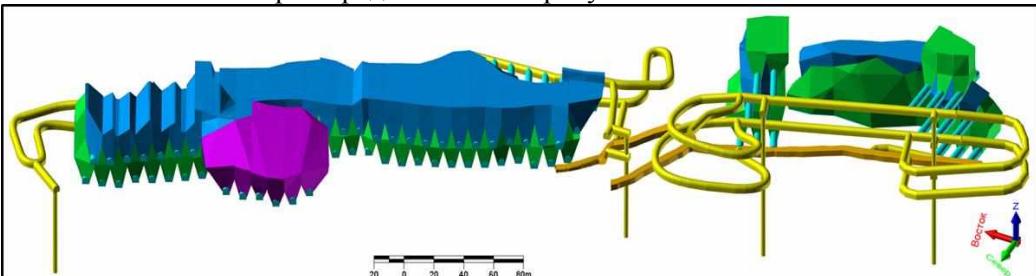
Отработку подкарьерных запасов следует вести с Юго-Западного рудного тела. Это обусловлено тем, что, по предварительной оценке, толща донных отложений над ЮЗРТ представлена крупнообломочным материалом с меньшим содержанием глинистых частиц. На первом этапе отрабатываются запасы геологических блоков 16, 17/1 и 17/2 до отм. +175 м (подэтажи +220 м, +200 м, +175 м). После отработки и «выполаживания» верхней части запасов ЮЗРТ предлагается приступать к подготовке, нарезке и отработке запасов западной части подэтажа +180/+161,5 м СВРТ и, в последнюю очередь, отрабатывать подэтаж +143,5/+161,5 м, что является ключевым фактором обеспечения безопасных условий ведения горных работ. Вертикальный разрез представлен на рисунке 5.



**Рисунок 5 – Вертикальный разрез трубы Айхал (подкарьерные запасы)**

Перед проходкой нарезных выработок обязательным требованием является опережающее бурение с целью фиксации возможных водопроявлений и установления их дебетов и объемов на всех подэтажах, а также достоверно определять контакт руда-осыпи и осуществлять постоянный контроль за водопроявлениями и их отведением. Результаты анализа расположения нарезных выработок по короткой оси рудного тела (вкрест простирации) и по длиной оси рудного тела (по простирианию) показали, что безопасные условия отработки с учётом горно-геологических и горнотехнических условий, высокой обводнённости и наличием накопленных осипей и пульпы в карьерном пространстве, обеспечиваются путем проходки нарезных выработок по короткой оси рудного тела (вкрест простирации). При расположении нарезных выработок по короткой оси рудного тела (вкрест простирации) снижается срок их поддержания, при возникновении нештатной ситуации буро-доставочные орты консервируются (или ликвидируются), а ведение очистных работ продолжается на другом участке рудного тела.

Выполненное моделирование отработки рудной потолочины показало, что организация отработки с расположением буро-доставочных выработок вкрест длинной оси рудного тела позволяет обеспечивать более постоянный фронт работ и стабильно добывать 350 тыс. т/год, в то время как вариант с расположением буро-доставочных выработок вдоль длинной оси рудного тела имеет снижение производительности до 300 тыс. т/год при отработке Северо-Восточного рудного тела. Конструктивные элементы системы разработки и каркасы отстроенных очистных вееров представлены на рисунке 6.



**Рисунок 6 - Конструктивные элементы системы разработки и каркасы отстроенных очистных вееров**

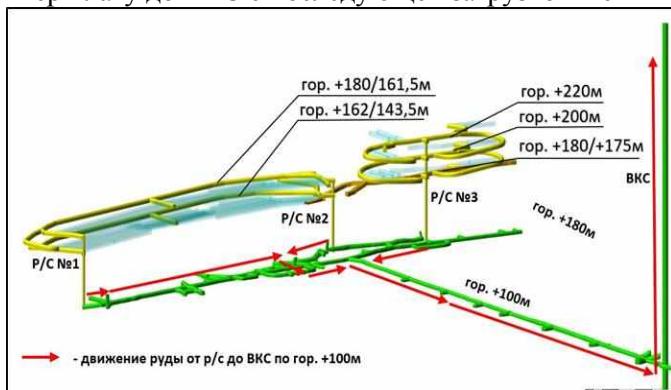
Для горно-подготовительных выработок в качестве основного вида крепления рекомендовано применение самозакрепляющегося анкера (СЗА) с армокаркасом или металлической сеткой с усилением набрызгбетоном.

Для подготовительно-нарезных выработок в качестве основного вида крепления рекомендовано применение металлических рам с ж/б затяжкой, допустимо применение доски.

Расход воздуха с учётом подготовительно-нарезных и очистных работ составит 94,5 м<sup>3</sup>/с.

Подача свежей струи предусмотрена с гор. +100 м, исходящая через вентиляционно-закладочный квершлаг отм. +180 м и портал на отм. +308 м наклонного съезда +308/+190 м. Проветривание при одновременном ведение горных работ в отм. +163/+194 м и глубоких горизонтах в отм. -100/-400 м обеспечивается с помощью, существующей главной вентиляторной установки ТАФ 36/21,5-1.

Транспортировка горной массы из очистных выработок в отм. +163/+194 м осуществляется с помощью ПДМ до блоковыхrudоспусков с последующим перепуском на гор. +100 м. Далее - по существующей транспортной схеме автосамосвалами по транспортному квершлагу до ВКС с последующей загрузкой в скип и выдачей на поверхность, рисунок 7.



**Рисунок 7 – Схема транспортировки горной массы**

Разработан резервный вариант транспортировки горной массы через автоуклон отм. +395/+190 м до портала на отм. +398 м в карьерном пространстве, затем перегрузом в карьерные автосамосвалы и дальнейшей транспортировкой на склад обогатительной фабрики.

### 3. Анализ криогидрогеологических и структурно-тектонических условий карьерного поля трубки Комсомольская с выдачей заключения о возможности использования выработанного пространства карьера в качестве бессточного накопителя

*Исполнители работы:*

- институт «Якутипроалмаз» АК «АЛРОСА» (ПАО);

Янников А.М., заместитель директора по научной работе, к.г.-м.н.;

*Корепанов А.Ю.*, начальник комплексного отдела горно-геологических проблем разработки месторождений;

*Стручкова А.С.*, заведующий сектором гидрогеологического и гидродинамического моделирования;

*Янникова С.А.*, научный сотрудник сектора гидрогеологических исследований;

*Брычаев Н.М.*, инженер 2 категории сектора гидрогеологических исследований;

- ИЗК СО РАН (подрядчик).

В результате выполнения работы исполнителями подготовлено обоснование возможности использования выработанного пространства отработанного карьера «Комсомольский» в качестве бессточного накопителя с указанием полезного объёма для складирования вод и предельной отметки заполнения карьера.

В ходе работы детально рассмотрены мерзлотно-гидрогеологические условия района и участка, представлен анализ изменений криогидрогеологических условий, дана характеристика фильтрационных свойств пород толщи многолетнемерзлых пород (ММП), миграционных показателей закачиваемых вод, емкостных параметров вмещающих пород с учётом проникновения закачиваемых вод непосредственно в борта карьера.

Представленные и опробованные методики, технологии проведения комплексных исследований позволяют получать полную и объективную информацию для оценки возможности закачки слабоминерализованных вод в выработанное пространство карьера, а также осуществлять контроль процесса их закачки. Силами подрядной организации ИЗК СО РАН выполнено гидрохимическое моделирование в ПО СЕЛЕКТОР, ПО HydroGeo, анализ научно-исследовательских работ за период 2019-2022 гг. с последующей разработкой силами лаборатории горно-геологических проблем разработки месторождений института «Якутнипроалмаз» постоянно действующей гидродинамической модели карьерного поля в программном продукте Feflow и рекомендаций по опытной эксплуатации отработанного карьера. Создаваемая гидродинамическая модель карьерного поля ориентирована в настоящее время на обеспечение контроля процесса закачки, оценку полезной емкости отработанного карьера, прогнозирование условий и требований его экологически безопасного функционирования. Для обеспечения эффективного и экологически безопасного функционирования отработанного карьера «Комсомольский» на весь прогнозируемый период его эксплуатации подготовлены соответствующие рекомендации. По результатам моделирования спрогнозирован ореол растекания слабоминерализованных вод в массиве ММП.

По результатам лабораторных исследований установлены: химический состав пород разреза, их засоленность, физико-механические и коллекторские свойства, химический состав и минерализация закачиваемых вод.

Проведенными исследованиями и гидродинамическим моделированием установлено, что ореол растекания слабоминерализованных вод, который будет возникать в процессе опытной закачки относительно невелик, растекание происходит в рамках карьерного поля и не превысит 315 м (в течение 178 лет). Созданная гидродинамическая модель карьерного поля трубы Комсомольская ориентирована в настоящее время на обеспечение контроля процесса закачки и прогнозирование условий и требований его экологически безопасного функционирования до 2032 года. По результатам моделирования максимальная полезная ёмкость карьера составит 28,0 млн. м<sup>3</sup> без учёта проникновения закачиваемых вод в толщу ММП, что в данной ситуации выступает фактором, дополнительно обеспечивающим полезную ёмкость до 10 млн. м<sup>3</sup>.

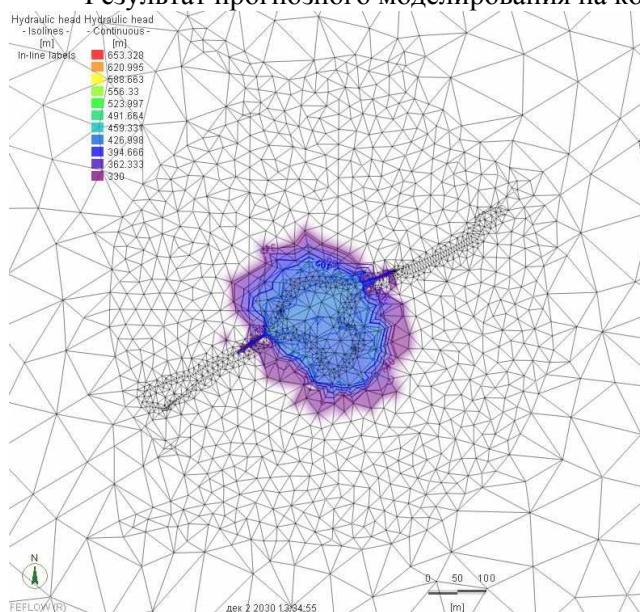
Основное требование при закачке слабоминерализованных вод в отработанный карьер трубы Комсомольская – непревышение отметки +540 м.

Верхним экологическим пределом интервала закачки дренажных вод является положение гидрографической сети участка закачки. Нижняя граница закачки не ограничивается, определяется интервалом поглощения. Прогнозируемые перетоки закачиваемых слабоминерализованных вод в толщу ММП и интервалы межмерзлотного нижнеордовикского водоносного комплекса значительно снижают темп заполнения карьера, в итоге являясь гарантией экологической безопасности закачки.

Дополнительным фактором выступает отсутствие в пределах проникновения закачиваемых вод в толщу ММП глубоко врезанных рек и ручьёв. Перепад высот в радиусе 1 км

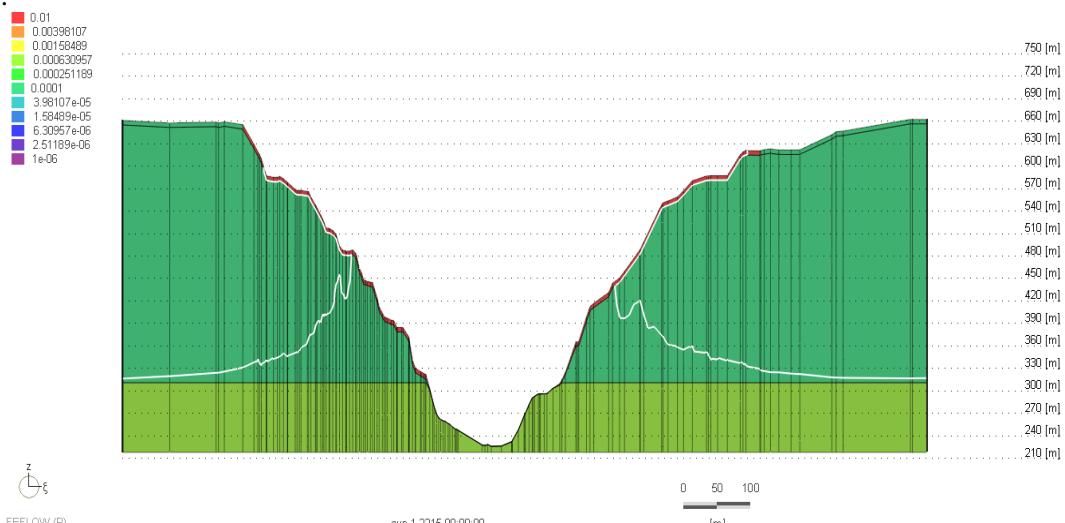
от карьера не превышает 40 м, что позволит в период до 2145 года сформировать 120 метровую толщу пресных вод, надежно экранирующую перекаченные ранее слабоминерализованные воды.

Результат прогнозного моделирования на конец 2030 года приведен на рисунке 8.



**Рисунок 8 - Результат прогнозного моделирования на конец 2030 года**

Модельное положение уровня внедренных вод на конец расчета приведено на рисунке 9.



**Рисунок 9 - Модельное положение уровня внедренных вод на конец расчета**

В 2023 г. сотрудники института опубликовали 35 статей и докладов, 2 монографии, приняли участие в 21 научно-практической конференции.

## 2.18. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ

**Современное состояние и перспективы развития  
цифровых технологий в угольной промышленности России**

Выполнен обзорный анализ текущего состояния использования в угольных компаниях России техники, технологий и современных инновационных разработок с цифровыми элементами промышленной стратегии «Индустрия 4.0». Для создания нового инновационного цифрового технологического базиса угольной промышленности предлагается сформировать

и развивать пять групп ключевых технологических платформ. При этом предлагается перспективные возможности инновационного цифрового потенциала угольной промышленности реализовать в два этапа с осуществлением, в конечном итоге, структурно-инновационной и цифровой трансформации угольной отрасли.

Технико-экономическое развитие человечества протекает в форме последовательной смены поколений (этапов, укладов, парадигм), каждое из которых характеризуется определенными первичными ресурсами, материалами, конечными продуктами, технологическими процессами, типом общественного потребления и др. Причиной прерывистого (ступенчатого) характера развития является сопряженность производственных процессов одной технологической совокупности.

На современном этапе развития выделяется шесть технологических укладов. Каждый из укладов в своем развитии проходил различные стадии эволюции, отличающиеся мерой его влияния на общий экономический рост в стране. Устаревшие уклады, теряя свое решающее влияние на темпы роста, оставляли в составе национального богатства страны, созданные производственные, инфраструктурные объекты, культурное наследие, знания и т.п. [1].

Взаимосвязь технологических укладов с уровнем развития экономики можно определить следующим образом: первые четыре являются индустриальными, а пятый и шестой – постиндустриальными технологическими укладами.

Смена технологических укладов с последующим резким скачком производительности и ростом экономики приводила к промышленным (индустриальным) революциям. Опосредовано со сменой технологических укладов, сменяются и циклы развития науки. При этом эволюции мировых промышленных революций соответствуют и присущие им мировые энергетические ступени развития [2,3].

Начавшаяся в конце XX века автоматизация промышленности, несмотря на активное внедрение информационных технологий (или информационно-коммуникационных технологий – ИТ), электроники и промышленной робототехники в производственные процессы, носила преимущественно локальный характер, когда каждое предприятие или подразделения внутри одного предприятия использовали собственную систему управления (или их сочетание), которые были несовместимы с другими системами.

Развитие Интернета, ИТ-технологий, устойчивых каналов связи, облачных технологий и цифровых платформ, а также информационный «взрыв», вырвавшийся из разных каналов данных, обеспечили появление открытых информационных систем и глобальных промышленных сетей (выходящих за границы отдельного предприятия и взаимодействующих между собой), которые оказывают преобразующее воздействие на все сектора современной экономики и бизнеса за пределами самого сектора ИТ, и переводят промышленную автоматизацию на новую, четвертую ступень индустриализации.

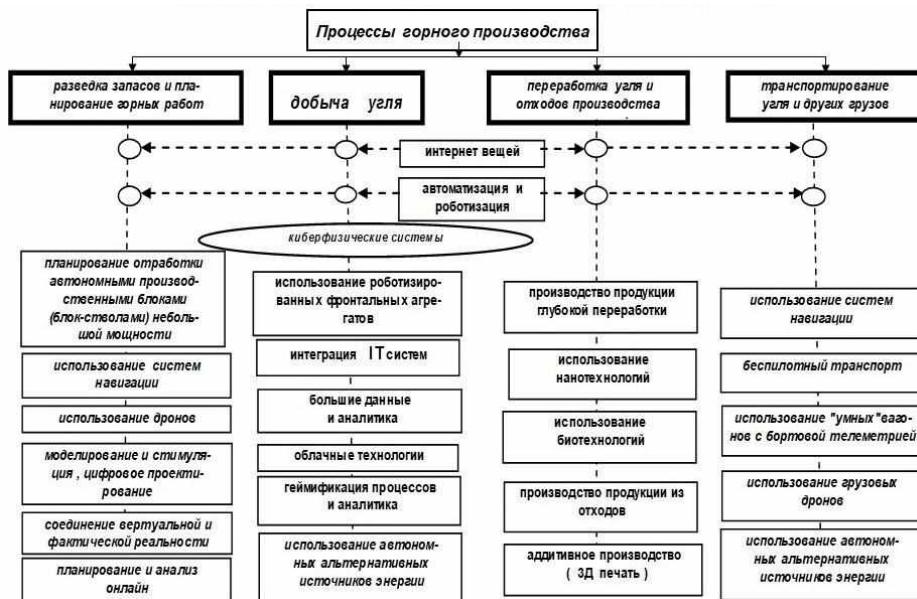
Переход к 4-й промышленной революции связан с развитием инновационных технологий, в основе которых лежит концепция промышленной стратегии «Индустрия 4.0» и соответствующие цифровые технологии.

На рисунке 1 представлена возможная систематизация основных элементов промышленной стратегии «Индустрия 4.0» по базовым процессам горного производства [2,3].

В настоящее время в угольной промышленности наиболее широко цифровизацией охвачены традиционные сферы оперативно-диспетчерского управления, бухгалтерского учета, финансовой, договорной, снабженческой деятельности, документооборота, профессионального образования и переподготовки.

Ведущие российские угольные компании продолжают активное внедрение цифровых технологий для автоматизации большинства производственных процессов с целью повышения производительности труда, снижения аварийности и травматизма, повышения конкурентоспособности своей угольной продукции.

Инновационные разработки роботизированных систем добычи и переработки полезных ископаемых уже в самое ближайшее время смогут принципиально изменить технико-технологические принципы функционирования горных предприятий и приблизить нас к созданию интеллектуального горного предприятия.



**Рисунок 1 – Систематизация основных элементов проекта «Индустрія – 4.0» по базовым процессам горного производства [2, 3]**

Информация по ряду внедренных на российских шахтах и разрезах инноваций с цифровыми технологиями и элементами «Индустрія 4.0» приведена в таблице 1.

Таблица 1

**Примеры инновационных разработок с цифровыми технологиями и элементами «Индустрія 4.0» при подземной и открытой добыче угля**

Наименование инновационной технологии, разработчик	Краткое описание принципа действия технологии и конструкции оборудования	Стадия внедрения в России
<b>ПОДЗЕМНЫЕ ГОРНЫЕ РАБОТЫ</b>		
<i>Технологии динамического 3D-моделирования – от подсчета запасов на лицензионном участке и проектирования шахты до ликвидации горных выработок после завершения отработки запасов</i>		
<b>ГЕОМИКС (Россия) Создание 3D-модели месторождения и подсчет объемов горных работ при календарном планировании с использованием программного обеспечения AutoCadCivil 3D</b>	Создание 3D-модели угольного пласта производится посредством инструментов моделирования AutoCadCivil 3D: на основании линий, оконтуривающей область одного марочного состава в одном подсчетном блоке, было создано 3D-тело, от которого плоскостями, сориентированными под характерным углом залегания по падению, отсечена часть тела толщиной, соответствующей мощности подсчетного блока.	«Доломит», Холдинг «ЕвроХим групп», МГГУ, РУДН, МГОУ (г. Москва), БелГУ, БГУ (Минск) угольный разрез «Богатырь» (Казахстан), ОАО «Качканарский ГОК», ОАО «КМАРуда»
<i>Технологии сейсмического мониторинга</i>		
<b>САКСМ автоматизированная система акустического контроля состояния массива горных пород, ООО «МНТЛ РИВАС», Москва, в партнерстве с Devis Derby Ltd. (Великобритания)</b>	Программно – аппаратный комплекс, осуществляющий: мониторинг в реальном времени призабойной части горного массива; прогноз гео – и газодинамических явлений; контроль безопасности и оценки эффективности мер их предотвращения; контроль технологических процессов при выемке угля; контроль режима сотрясательного взрывания, прогноза геологических нарушений впереди движущегося забоя.	Освоено серийное производство оборудования в искробезопасном исполнении, проведена обязательная сертификация

<b>Наименование инновационной технологии, разработчик</b>	<b>Краткое описание принципа действия технологии и конструкции оборудования</b>	<b>Стадия внедрения в России</b>
<b>Применение инновационных методов сбора, обработки и визуализации информации в системах шахтной безопасности</b>		
<b>Искробезопасная система сейсмического мониторинга GITS (АО ВНИМИ, СПб)</b>	Программно-аппаратный комплекс, может использоваться как составная часть комплексной системы безопасности	Шахты АО «СУЭК», Евраз груп
<b>Программный комплекс «Вентиляция»</b>	Моделирование опасных ситуаций в шахте, расчет маршрута движения людей на поверхность и передача этой информации в систему позиционирования, оповещения и поиска людей, застигнутых аварией (систему «Гранч»). В результате чего, индивидуальный светильник работника, находящегося в шахте начинает выполнять роль навигатора в условиях плохой видимости и, голосовыми командами сообщает о том, в каком направлении необходимо идти и когда необходимо свернуть в другую выработку.	В июле 2018 г. на соревнованиях вспомогательных горно-спасательных команд (ВГК) СУЭК была развернута система Granch SBGPS с обеспечением возможности связи с отделением ВГК при помощи оборудования Granchфон с обеспечением визуального сопровождения видеокамерами, в том числе в инфракрасном диапазоне. Впервые движение команд было организовано с использованием системы подземной навигации Granch SBGPS – ГОРНАСС, интегрированной с программным комплексом «Вентиляция». Система Granch SBGPS была развернута как с помощью стационарного, так и переносного оборудования
<b>SBGPS (Гранч) – система наблюдения, оповещения и поиска людей, застигнутых аварией</b>	Система позиционирования персонала в шахте «Гранч» строит свою подземную инфраструктуру связи на основе беспроводных технологий, в шахте организована зона покрытия Wi-Fi	Внедрен и развивается с 2010 года в АО «СУЭК-Кузбасс»
<b>Система ГОРНАСС «Умная шахта» (ООО НПФ Гранч, Новосибирск)</b>	Granch МИС — многофункциональная измерительная система аэро-газового контроля, передачи информации и управления оборудованием, предназначенная для решения любых задач автоматизации в шахте. На базе МИС созданы и успешно функционируют системы аэрогазового контроля, автоматизированного управления конвейерным транспортом, автоматизированного управления шахтным водоотливом, управления энергоснабжением и др; SBGPS (Гранч); Granch SBAVS — система громкоговорящей связи	2009 года на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс», ряд шахт ХК «СДС-уголь» и др.
<b>Использование мобильных робототехнических летательных аппаратов при выполнении оперативного плана ликвидации аварии на шахтах</b>	Выполнение разведки после аварии на шахте. Временное восстановление разрушенной структуры радиосвязи за счет разбрасывания радиодатчиков через каждые 100-200 м пути.	Ким М.Л., Родичев А.С. АО «СУЭК»; Певзнер Л.Д. проф. МИРЭА; Платонов А.К. проф. Ин-т прикл. математики РАН

<b>Наименование инновационной технологии, разработчик</b>	<b>Краткое описание принципа действия технологии и конструкции оборудования</b>	<b>Стадия внедрения в России</b>
<b>Внедрение систем «СУБР», «РАДИУС», «НАЛНАХ», «FLEXCOM», «Mine Scada» ЗАО ПО «Электроприбор»</b>	В данных изделиях использован современный принцип измерения концентрации метана и углекислого газа при помощи оптических сенсоров, имеющих высокую стабильность.	Используются в многофункциональных системах безопасности шахт и рудников
<b>Технологии больших данных – получение и обработка разрозненных данных для получения удобной для восприятия информации и ее анализа</b>		
<b>Создание Единых Диспетчерско-Аналитических Центров (ЕДАЦ)</b>	Основные функции ЕДАЦ компании: - получение данных от различных технологических и производственных систем; - проведение обработки и аналистика данных; - визуализация данных и предоставление автоматических отчетов.	Внедрен и развивается с 2014 года в АО «СУЭК-Кузбасс».
<b>Автоматизация и роботизация выемки угля и проведения горных выработок</b>		
<b>Технология проведения подготовительных горных выработок роботом «Геоход» Институт угля ФИЦ УУХ СО РАН (г. Кемерово) и НИ ТПУ (г. Томск)</b>	Геоход представляет собой винтоворотный проходческий агрегат (ВПА), отличительной особенностью которого является ввинчивание корпуса машины в массив горных пород. При таком принципе взаимодействия используется приконтурный массив горных пород для восприятия реактивных сил от технологических операций и создания напорного и тягового усилий, т. е. вовлекается окружающая геосреда. Для этого в ВПА введена дополнительная технологическая операция – формирование законтурных каналов, что позволяет им вести проходку при любых углах наклона выработки.	Разработка и изготовление опытного образца геохода диаметром 3,2 метра осуществлена на предприятии ОАО «КОРМЗ» (г. Кемерово). В 2016 г. были проведены испытания опытного образца, который был признан конкурентоспособной продукцией. Промышленное производство предполагалось начать в 2018 году.
<b>Технология безлюдной выемки угля на шахте «Полысаевская» АО «СУЭК-Кузбасс»</b>	В основу системы безлюдной выемки угля легла совместная разработка специалистов ОАО «СУЭК-Кузбасс», MARCO (Германия) и EICKHOFF (Германия). Среднемесечная добыча из лавы 300 тыс. т угля. Контроль и управление забойным оборудованием осуществляется оператором из соседнего штрека. Это возможно благодаря использованию датчиков, установленных на комбайне SL-300, силовой гидравлике секций крепи, а также специальных видеокамер, в том числе работающих в инфракрасном диапазоне.	Внедрена на шахте «Полысаевская» в августе 2015 г. в лаве №1767 по пласту Бреевский вынимаемой мощностью 1,6 метров.
<b>ОТКРЫТЫЕ ГОРНЫЕ РАБОТЫ</b>		
<b>Технологии динамического 3D-моделирования – от процесса проектирования разреза до полной рекультивации после завершения горных работ</b>		
<b>Технологии геоинформационного обеспечения (ГЕОМИКС, Россия)</b>	Ориентирована на открытую и подземную разработку (см. выше) твердых полезных ископаемых любых геолого-промышленных типов; позволяет создавать горно-геологические модели месторождений, вести подсчет запасов минерального сырья, автоматизировать процессы геолого-маркшейдерского обеспечения и планирования добычи, проектирования буровзрывных работ, осуществлять полный документооборот в горном производстве.	

<b>Наименование инновационной технологии, разработчик</b>	<b>Краткое описание принципа действия технологии и конструкции оборудования</b>	<b>Стадия внедрения в России</b>
<b>Технологии сейсмического мониторинга (САКСМ)</b>	См. выше	
<b>Применение комплекса оборудования и специального программного обеспечения для проектирования БВР</b>	Проектирование взрывных работ в формате 3D; 3D-моделирование карьерного поля	Внедрено во многих проектных организациях отрасли
<b>Роботизация технологического процесса открытой угледобычи</b>		
<b>Роботизированный технологический транспорт на открытых горных работах</b>	БелАЗы оснащены интеллектуальным оборудованием на заводе, инфраструктуру в пилотных регионах обеспечивало ООО «ВИСТ Групп».	Японская Komatsu в 2016 году представила свой роботизированный карьерный самосвал. По аналогии БелАЗ совместно с ООО «ВИСТ Групп» изготовил и внедрил в Кузбассе (СДС-уголь, р. Первомайский) и в Хакасии (СУЭК, р. Черногорский) в 2018-2019 гг. пять пилотных 130-тонных роботизированных самосвалов.
<b>Система управления горнотранспортными комплексами</b>		
<b>«КАРЬЕР» (ООО «ВИСТ Групп»)</b>	<p>Решаемые задачи:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- оптимальное распределение самосвалов по экскаваторам и пунктам разгрузки с учетом планируемого качества и объемов</li> <li>- на складах, учета очередей и простоев</li> <li>- увеличение объемов добычи текущим количеством техники</li> <li>- снижение расходов на ремонт и эксплуатацию техники</li> <li>- снижение влияния человеческого фактора на производительность работы горно-транспортного комплекса.</li> </ul>	АО «СУЭК», разрезы «Заречный» (АО «СУЭК - Кузбасс») и АО «Тугнуйский разрез».

*Источники: составлено на основе анализа информации из открытых источников [4, 5, 6, 7, 8, 9].*

В настоящее время в подземном способе добычи угля наблюдаются эволюционные процессы, связанные с совершенствованием существующих видов техники и технологий комплексно-механизированной выемки угля, принципы которой разработаны и выверены практикой десятилетия назад, включая:

- рациональное извлечение запасов угольных месторождений при создании эффективных и безопасных геотехнологий по отработке пластов угля;
- управление состоянием горного массива и технологий, обеспечивающих предотвращение газодинамических явлений в угольных шахтах;
- разработку технологий, обеспечивающих повышение эффективности вентиляции, дегазации угольных шахт, технологий и технических средств снижения пылевыделения и взрывозащиты, а также разработку и внедрения эффективных способов и средств подавления, и локализации пылеметано-воздушных смесей;

- разработку технологий добычи угля без постоянного присутствия людей в очистных и подготовительных залах на базе современной комплексной механизации и автоматизации.

За последние десять лет удельный вес объемов добычи угля подземным способом снизился с 30 до 23,2 % от общей добычи по отрасли, но несмотря на технологическую сложность и опасность подземных горных работ, они продолжают играть важную роль при условии обеспечения промышленной безопасности, так как значительная часть наиболее ценных коксующихся углей может быть отработана только на шахтах.

*Инновационные разработки в подземной угледобыче с цифровыми технологиями:*

- технологии динамического 3D-моделирования – от уточнения запасов на лицензионных участках, проектирования шахты до полной рекультивации после завершения горных работ;

- технологии геоинформационного обеспечения, сейсмического мониторинга и системы автоматического управления на горных предприятиях, включая информационно-измерительные системы обеспечения шахтной безопасности (внедрены на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс», ХК «СДС-уголь», «Евраз Групп»);

- технологии мониторинга и управления любым технологическим процессом и оборудованием в шахте на основе единых информационно-управляющих систем (комплексы «Умная шахта»);

- автоматизация и роботизация проведения горных выработок на основе создания нового класса горнопроходческих машин – геоходов (создан и испытан опытный образец в ОАО «КОРМЗ», г. Кемерово);

- автоматизация и роботизация выемки угля роботизированными комплексами – наибольшее развитие работы по шахтной робототехнике получили в Великобритании, Японии, США, Германии, Республике Чехии. В августе 2015 года впервые в России на шахте «Полысаевская» АО «СУЭК-Кузбасс» была введена новая лава №1767 по пласту Бреевский вынимаемой мощностью 1,6 метра, в которой применена технология, позволяющая вести безлюдную выемку угля [3].

Анализ данных таблицы 1 позволяет сделать следующие основные выводы в отношении цифровизации подземных горных работ.

Большинство применяемых в настоящее время в России программно-аппаратных комплексов 3D - моделирования участков месторождений и прогнозирования результатов производственной деятельности являются зарубежными разработками или созданы в партнерстве с зарубежными фирмами. Появились российские разработки, предназначенные для решения достаточно узкого круга задач, имеющие ограниченное применение. Наиболее широкое распространение получили системы промышленной безопасности, в которых интегрированы разработки российских и зарубежных фирм. Следует отметить, что на шахтах и разрезах угольных компаний внедрены системы безопасности нескольких разработчиков.

В части инновационных техники и технологий имеются научные разработки российских и советских ученых, патенты, результаты лабораторных испытаний, опытные образцы, однако отсутствует информация о результатах испытаний опытных образцов или начале промышленного производства.

Появился практический опыт безлюдной выемки угля при подземном способе добычи с использованием добычного комплекса и аппаратуры автоматизации импортного производства.

При *открытом способе добычи угля* практически достигнут предел роста единичной мощности выемочно-погрузочного оборудования, связанный как с возможностями машиностроения, так и технологическими особенностями вскрышных, добычных и транспортных работ. Принципиально новая техника для открытых работ, например, кранлайны, комбайны послойного фрезерования, комплексы глубокой разработки пластов – не нашли широкого применения.

*Инновационные разработки при открытой угледобыче с цифровыми технологиями:*

- технологии динамического 3D-моделирования – от процесса проектирования горного предприятия до полной рекультивации после завершения горных работ;

- IT-технологии с применением спутниковых навигационных систем диспетчеризации технологического транспорта разреза, мониторинга деформации карьерных выработок, техногенных и природных откосов и насыпей;

- технологии промышленной электроники (системы дистанционного управления оборудованием на разрезах, промышленный видео контроль и пр.);
- технологии полной информатизации и автоматизации основных производственных процессов (комплексы «Умный разрез», «Интеллектуальный карьер»), основанные на единой информационно-управляющей инфраструктуре, предназначеннной для мониторинга и управления любым технологическим оборудованием на разрезе при вскрышных и добывчих работах (компания «Rio Tinto» эксплуатирует с 2009 года два полностью автоматизированных карьера в Австралии, в Канаде компания «Alberta Mining Corporation» создала восемь автоматизированных горных производств, [3]).

Крупнейшим отечественным поставщиком систем автоматизации и информатизации открытых горных работ в России является резидент Сколково, компания «Вист Майнинг Технолоджи». Горно-металлургическими компаниями России и СНГ (СДС, СУЭК, УГМК, МЕЧЕЛ, МЕТАЛЛОИНВЕСТ, СМР, ММК, НЛМК, ПОЛИОС, Полиметалл, ДГК, ЕВРАЗ, РУСАЛ, АРСЕЛОР, МЕТИНВЕСТ, ENRC, ЭРДЭНЭТ и др.) в настоящее время с успехом применяются системы диспетчеризации «КАРЬЕР» и бортовые программно-аппаратные комплексы, состоящие из большого количества функциональных подсистем с использованием навигационных технологий «ГЛОНАСС/GPS» [3].

Анализ данных таблицы 1 позволяет сделать следующие основные выводы в отношении цифровизации открытых горных работ.

Открытые работы находятся в несколько лучшем положении в части применения цифровых инноваций по сравнению с подземными работами. Так, накоплен практический опыт в эксплуатации системы управления горнотранспортными комплексами «Карьер» ООО «ВИСТ Групп» в АО «СУЭК» и ХК «СДС-уголь», идет продвижение в направлении реализации роботизации по проекту «Интеллектуальный карьер» (по экспертной оценке, соответствует уровню «Индустрия 4.0»)

В части роботизированных автосамосвалов в России ближе всего к цели ООО «ВИСТ Групп» КАМАЗ, который построил опытный образец. Планируется обкатка на разрезах АО «СУЭК» и холдинга «СДС-уголь» пяти роботизированных 130-тонных самосвалов БелАЗ под управлением разработанного программно-аппаратного комплекса «Интеллектуальный карьер».

При этом нельзя не отметить, что наиболее современное, надежное и производительное оборудование на российских разрезах – пока импортное, и количество его растет вместе с ростом объемов добычи угля открытым способом.

В обогащении угля продолжается развитие модульного подхода к проектированию и строительству ОФ, переход на замкнутые водно-шламовые системы и увеличение глубины обогащения до нуля. Современные обогатительные фабрики – высокомеханизированные и автоматизированные предприятия. Автоматизации в обязательном порядке подлежат обеспечение сигнализации и контроля, блокировки и защиты, регулирование и управление конкретными технологическими процессами и обогатительной фабрики в целом.

В глубокой переработке угля проблема заключается не в научно-технологическом обеспечении, а в экономической целесообразности ее решения в России в условиях жесткой конкуренции с нефтью и природным газом в обозримом будущем. Поэтому в ближайшей перспективе следует ожидать только малотоннажного производства продуктов углехимии – синтетического жидкого моторного топлива, синтез-газа и др.

Проведенный обзорный анализ текущего состояния российских угольных компаний в части используемой техники, технологий и современных инновационных разработок, внедряемых в угольной промышленности России и мира с элементами промышленной стратегии «Индустрия 4.0», направленных на повышение эффективности угольного бизнеса, выявил основные направления, которые могут быть положены в основу формирования инновационных технологических платформ и стратегических направлений технологического развития отрасли [10, 11, 12].

Для создания нового инновационного технологического базиса угольной промышленности предлагается сформировать и развивать пять групп ключевых технологических

платформ, представляющих в целом новую парадигму инновационной деятельности в угольной промышленности (таблица 2).

Таблица 2

**Перспективные технологии и направления инновационных технологических платформ угольной промышленности с внедрением цифровых технологий и элементов «Индустрия 4.0»**

Перспективные технологии и направления с элементами «Индустрии 4.0»	Краткая характеристика технологий и направлений
<b>1. ТП «Поисковые и разведочные работы»</b>	
Совершенствование геоинформационных систем (ГИС) при геологоразведке	Цифровая интернет-интерпретация пространственно-временных данных о представленных в ГИС объектах; 3-D моделирование геологической среды при разведке месторождений
Технологии дистанционного зондирования земли	Применение комплексов спутниковой геодезии и лазерного сканирования, использование систем навигации и дронов.
Технологии виртуализации поисковых и разведочных работ	Создание среды для интерактивного проектирования скважин, оперативного управления геологическими изысканиями и геофизического анализа
<b>2. ТП «Технологии подземных горных работ»</b>	
Технологии проведения горных выработок и формирования подземного пространства	Автоматизация и роботизация проведения горных выработок на основе создания нового класса горнопроходческих машин – геоходов
Технологии выемки угля без присутствия людей в очистном забое	Автоматизация и роботизация комплексно-механизированных забоев на основе создания комплексов нового поколения - механизированная крепь с выемочным манипулятором с программным управлением
Технологии геоинформационного обеспечения	Технологии геоинформационного обеспечения и системы автоматического управления на горных предприятиях, учитывающих горнотехнические особенности российских месторождений и российские стандарты; цифровое моделирование геомеханических процессов при разработке месторождений
Интернет вещей при подземном способе добычи угля	Комплексы «Умная шахта» – единые информационно-управляющие инфраструктуры, предназначенные для мониторинга и управления любым технологическим оборудованием в шахте, обеспечения связи и сигнализации, наблюдения, оповещения и поиска людей, застигнутых аварией
Развитие геотехнологий безлюдной добычи угля	Скважинная добыча угля, переведенного в жидкое или газообразное состояние при подземной газификации, с выдачей его в виде гидросмеси или газа на поверхность
<b>3. ТП «Технологии открытых горных работ»</b>	
Интернет вещей при открытой добыче угля	Комплексы «Умный разрез» или «Интеллектуальный карьер» – единые информационно-управляющие инфраструктуры, предназначенные для мониторинга и управления любым технологическим оборудованием на разрезе при вскрышных и добывающих работах
<b>4. ТП «Технологии переработки угля и отходов производства»</b>	
Интернет вещей при обогащении, переработке угля и отходов производства	Комплексы «Саморегулируемая (умная) фабрика» – сфокусированы на создании «умных» процессов, продуктов, оборудования, а также должны вовлекать людей работать в среде ИТ-системы. Все компоненты (люди, машины, продукты и объекты) благодаря встроенным датчикам должны коммуницировать друг с другом также естественно, как и в социальной сети, без вмешательства человека.

Перспективные технологии и направления с элементами «Индустрии 4.0»	Краткая характеристика технологий и направлений
Технологии углехимии с получением продуктов с высокой добавленной стоимостью	<p>Пиролиз (коксование) углей – получение кокса, полуоксида, каменноугольных пеков, гуминовых кислот, нафталина, антрацена, фенантрена, бензола, каменноугольных масел, аммиака, фенола, крезола, пиридиновых оснований, коксового газа.</p> <p>Технология «термококс» – производство облагороженного твердого топлива методом термического обогащения угля.</p> <p>Непрямая гидрогенизация углей – получение жидких продуктов (бензина, дизельного топлива, смазочных масел, парафинов, фенолов) из смол газификации или пиролиза углей.</p> <p>Прямая гидрогенизация углей – прямая деструктивная гидрогенизация под давлением (с катализатором или без) с получением моторного топлива и сырья для органического синтеза</p>
Использование нанотехнологий и биотехнологий	Развитие инновационных конкурентных направлений технологического использования углей – нанопористых сорбентов, углеродных молекулярных сит для разделения газов и др.
<b>5. ТП «Технологии транспортировки горной массы»</b>	
Интернет вещей при транспортировке угля потребителям	Комплексы «Интеллектуальный транспорт и центры управления» – единые информационно-управляющие логистические инфраструктуры, предназначенные для мониторинга и цифрового управления транспортом (автомобильным, железнодорожным, морским) при транспортировке угля потребителям
Автоматические транспортные средства	Использование технологических автомобилей-беспилотников при транспортировке вскрыши и угля на разрезах; применение грузовых беспилотных летательных аппаратов (дронов, дирижаблей нового поколения) при транспортировке угля на дальние расстояния из труднодоступных районов

Основные задачи новых инновационных технологических платформ угольной промышленности России:

- формирование стратегического видения реализации промышленной стратегии «Индустрия 4.0»;
- определение основных требований и функциональных свойств отечественной угольной промышленности на базе стратегии «Индустрия 4.0» и принципов их осуществления;
- определение основных технологических направлений по основным секторам (процессам) технологического развития угольной отрасли: поисковые и разведочные работы; подземная и открытая добыча угля; обогащение, переработка угля и отходов производства; транспортировка угля;
- определение основных компонентов, технологий, информационных и управлеченческих решений во всех вышеуказанных процессах;
- диверсификация деятельности угледобывающих компаний при создании продуктов с высокой добавленной стоимостью за счет реализации направлений действующей технологической платформы «Экологически чистая тепловая энергетика высокой эффективности» и новой инновационной платформы «Технологии обогащения, переработки угля и отходов производства»;
- преодоление технологического разрыва и импортозависимости путем реализации поэтапного импортозамещения и инновационного развития российской угольной промышленности и отечественного горного машиностроения.

Таким образом, речь может идти о необходимости реализации новой парадигмы развития угольной промышленности России на базе инновационных технологических платформ с элементами «Индустрии 4.0» и реализации государственной политики импортозамещения. При этом необходимо создать на принципах государственно-частного партнерства единую сеть научно-образовательных центров для разработки и доведения

до промышленного использования прорывных инновационных технологий в угольной промышленности, а также подготовки высококвалифицированных кадров.

При этом возможности инновационного цифрового потенциала угольной промышленности могут быть реализованы в два этапа.

На 1-ом этапе шахты (разрезы) и обогатительные фабрики со средними технико-экономическими показателями (стабильная группа) поднимают свой уровень до уровня передовых по технико-экономическим показателям отечественных предприятий по добыче и обогащению угля (перспективная группа), а уровень передовых по технико-экономическим показателям шахт (разрезов) и обогатительных фабрик повышается в соответствии с мировыми трендами технико-технологического развития угольной промышленности.

На 2-ом этапе на всех шахтах (разрезах) и обогатительных фабриках осуществляется структурно-инновационная и цифровая трансформация для перехода на высокий технологический и технический уровень в соответствии с основными направлениями мирового инновационного процесса.

Таким образом, анализ технологических трендов в мире показывает, что даже в такой традиционной отрасли, как угольная промышленность, происходит активная технологическая модернизация и связанные с этим структурные изменения. Начало таких изменений положено и в российской угольной промышленности с переводом в цифровую форму процессов проектирования технологических систем, контроля их состояния и управления ими – трансформационный переход к цифровой экономике означает повышение скорости, наблюдаемости, точности и управляемости всеми производственно-технологическими процессами добычи и переработки угля.

Результаты исследования позволяют эффективно использовать при создании на принципах государственно-частного партнерства единой сети научно-образовательных центров для разработки и доведения до промышленного использования прорывных инновационных технологий в угольной, горной и геологоразведочной отраслях промышленности, а также при подготовке высококвалифицированных кадров на базе МГРИ.

## **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Артемьев В.Б., Захаров В.Н., Галкин В.А., Федоров А.В., Макаров А.М. Стратегия, тактика и практика инновационного развития открытых горных работ. // Уголь - 2017. - №12– С. 6-19.
2. Грабский А.А., Рожков А.А. Системные проблемы и стратегические направления технологического развития угольной промышленности России. – Материалы научно-практической конференции «Современное состояние и направления развития технологий, машинного и аппаратного обеспечения, эколого-безопасного природопользования и переработки промышленных отходов горнопромышленных комплексов на территории Евразийского экономического пространства». // 5–6 сентября 2019 г. Минск – Солигорск, Республика Беларусь. - С. 29-33. ISBN 978-985-530-784-7.
3. ЕВРАЗ внедрил на шахте «Ерунаковская-VIII» инновационную технологию дегазации угольных пластов. / Интернет-портал сообщества ТЭК. Режим доступа: <http://energyland.info/news-show-tek-ugol-163294/>
4. Ефременков А.Б. Разработка научных основ создания геохода / Диссертация на соискание степени доктора технических наук. // Юрга: ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» - 2016. – 314 с.
5. Официальный сайт АО «СУЭК». – Режим доступа: [http://www.suek.ru/upload\\_shared/ru/pdf/ru/](http://www.suek.ru/upload_shared/ru/pdf/ru/)
6. Официальный сайт Компании «ВИСТ Групп» (внедрение информационных систем и технологий). – Режим доступа: <http://www.vistgroup.ru/>
7. Панов Ю. П. Программа развития МГРИ на 2023—2027 гг. // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. - 2022; - 64(2):8—17. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-2-8-17> [13].
8. Плакиткин Ю.А., Плакиткина Л.С. Мировой инновационный проект «Индустрия-4.0» – возможности применения в угольной отрасли России. // Журнал «Уголь» - 2017 - №10 - С. 44-50; 2017 - № 11 - С. 46-53; 2018 - № 1 - С. 51-57.

9. Плакиткина Л.С. Угольная промышленность мира и России: анализ, тенденции и перспективы развития [Текст] / Людмила Семеновна Плакиткина, Юрий Анатольевич Плакиткин. монография. – М.: ЛИТТЕРРА, 2017. – 374 с.- Библиогр.: с. 363-373.- ISBN 978-5-91438-022-6.

10. Разработка научно обоснованных направлений структурно-инновационной трансформации угольной промышленности России. // Отчет НИР. – М.: АО «Росинформуголь», 2018. – 1117 с.

11. Разработка научно обоснованных предложений по приоритетным направлениям инновационного развития угольной промышленности России. // Отчет НИР. – М.: ФГБОУ ВПО МГГУ, 2013. – 176 с.

12. Разработка научно обоснованных предложений по стратегическим направлениям технологического развития и импортозамещения в угольной промышленности. // Отчет НИР. – М.: АО «Росинформуголь», 2017. – 421 с.

13. Соловенко И.С., Рожков А.А., Лизунов В.Г., Малушко Е.Ю. Цифровизация предприятий угольной промышленности России: к постановке проблемы. // Вопросы истории. 2022. - № 5 (2). - С. 152-165. Web of Science и Scopus (Q2). DOI: 10.31166/VoprosyIstorii202205Statyi38/

## **2.19. САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ НАПРАВЛЕНИЕ: НАУКИ О ЗЕМЛЕ**

### **СПОСОБ ОЧИСТКИ КИСЛЫХ ДРЕНАЖНЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЙ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОГО КОМПЛЕКСА**

*Авторы: Пашкевич М.А., Матвеева В.А., Харько П.А.*

Разработан способ нейтрализации и очистки кислых дренажных вод сульфидсодержащих техногенных массивов от металлов с применением золы от сжигания твердых коммунальных отходов (ТКО) в качестве альтернативного реагента.

Актуальность выбора золы от сжигания ТКО в процессе очистки сточных вод обусловлена тем, что в настоящее время отмечается стремительный рост интереса государства, промышленников и инвесторов к использованию энергетического потенциала отходов в виде топлива, что позволит уйти от хранения ТКО на полигонах. В рамках проекта «Чистая страна» в 2024 году планируется запуск четырех заводов по переработке отходов в энергию, т.е. обезвреживанию отходов путем сжигания, в результате которого образуется зола II-III класса опасности, вопрос утилизации которой остается открыт.

Высокая эффективность очистки модельных растворов сточных вод от металлов, подтвержденная многочисленными лабораторными исследованиями, дает возможность использования золы от сжигания ТКО на действующих очистных сооружениях реагентной очистки предприятий минерально-сырьевого комплекса.

Значимость исследований заключается в том, что под влиянием предприятий минерально-сырьевого комплекса зачастую оказываются малые природные водотоки, загрязнение, заиливание и деградация которых в Программе ООН рассматривается как угроза сохранения природных экосистем. Особенно актуальной эта проблема является для зоны недостаточного увлажнения, занимающей около 30% территории Российской Федерации.

Прогноз применения: Планируется реализовать и внедрять на предприятиях РФ по добыче и переработке сульфидных руд.

#### **Публикации:**

- Патент № 2779420 Российская Федерация, МПК C02F 1/62 (2006.01), C02F 1/66 (2006.01), C02F 1 03/1 6 (2006.01). Способ очистки подотвальных вод от ионов железа и меди: № 2022104784: заявл. 24.02.2022: опубл. 06.09.2022 / Смирнов Ю.Д., Харько П.А., Пашкевич М.А.; заявитель СПГУ. – 13 с.: 1 ил.

- Харько П.А. Оценка воздействия медно-колчеданных месторождений на формирование минерального состава донных отложений малых рек. / П.А. Харько, А.С. Плохов. // Вестник Евразийской науки. – 2019. – Т.11. – № 6. – С. 1-9. URL: <https://esj.today/PDF/92NZVN619.pdf>

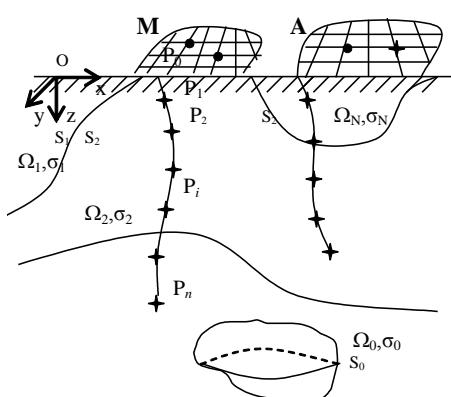
- Пашкевич М.А. Применение композитной смеси для очистки кислых дренажных вод хвостового хозяйства от металлов. / М.А. Пашкевич, П.А. Харько. // Обогащение руд. – 2022. – № 4. – С. 40-47. DOI: 10.17580/or.2022.04.07

- Харько, П.А. Донные отложения в реке при сбросе кислых и щелочных сточных вод. / П.А. Харько, В.А. Матвеева. // Экологическая инженерия и экологические технологии. – 2021. – № 22(3). – С. 35–41. DOI: 10.12912/27197050/134870

- Плохов А.С. Исследование влияния хвостового хозяйства медно-колчеданного месторождения на поверхностные воды. / А.С. Плохов, М.А. Пашкевич, П.А. Харько. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 4. – С. 57-68. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_4\_0\_57.

## СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ АНИЗОТРОПНЫХ ДИСПЕРГИРУЮЩИХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СРЕД

*Авторы:* Кризский В.Н. – д.ф.-м.н., проф., зав.каф., каф. ИиКТ, Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II, Александров П.Н. – д.ф.-м.н., г.н.с., ИФЗ им. О.Ю.Шмидта РАН.



Определение физических параметров неоднородных анизотропных диспергирующих сред – важнейшая задача геофизических исследований при изучении внутреннего строения Земли.

Разработан и вычислительным экспериментом апробирован новый метод поиска всех коэффициентов тензора анизотропии физических параметров локальных включений на основе данных измерений геофизических полей. Способ основан на использовании математических моделей физических полей в виде дифференциальных уравнений первого порядка и приведении обратной задачи к линейным матричным дифференциальным уравнениям [1].

Продемонстрирована возможность применения подхода для случая линейных интегральных представлений поля на основе объемных [2,3] и граничных интегралов [4]. Для задач рассеивания электромагнитного поля в бианизотропных средах получено объемное интегральное представление и показана возможность определения параметров всех 4-х тензоров анизотропии включения среды [2] (36 параметров). Для задач сейсморазведки в анизотропных упругих диспергирующих средах получено объемное интегральное представление и показана возможность определения всех коэффициентов расширенной матрицы, включающей упругие параметры и плотность локального включения [3] (144 параметра).

Созданный комплекс программ позволяет осуществлять моделирование геофизической системы наблюдения (мест расположения и интенсивностей источников поля, мест расположения измерительных датчиков) с целью её конструирования и получения на её основе данных полевых измерений, которые бы обеспечивали разрешимость задачи по определению физических параметров исследуемых сред.

Способ универсален и, кроме описанного выше, также может быть применен для определения термодинамических параметров сред в обратных задачах теплопереноса (для определения тензора анизотропии теплопроводности) и диффузионных свойств в обратных задачах массопереноса (для определения тензора анизотропии диффузии).

### Публикации авторов по теме исследований:

1. Александров П.Н., Кризский В.Н. Решение линейной коэффициентной обратной задачи геофизики на основе интегральных уравнений. // Физика Земли – 2022. – Т.68 – №2 – С. 136-143., DOI:10.31857/S0002333722020016 [Alexandrov P.N., Krizsky V.N. Solution of a Linear Coefficient Inverse Problem of Geophysics Based on Integral Equations // Izvestiya, Physics of the Solid Earth. 2022. V58. №2. pp. 274-280. DOI: 10.1134/S106935132202001X (WoS; Scopus Q2)]

**2. Александров П.Н., Кризский В.Н.** Прямая и обратная задача геоэлектрики бианизотропных сред на основе объемных интегральных уравнений. // Физика Земли – 2022. – Т.68 –№3 – С.92-107, DOI: 10.31857/S0002333722030012 [Alexandrov P.N., Krizsky V.N. Direct and Inverse Problem of Geoelectrics in Bianisotropic Media Based on Volume Integral Equations // Izvestiya, Physics of the Solid Earth. 2022. V 58. №3. pp. 379-393. DOI: 10.1134/S1069351322030016 (WoS; Scopus Q2)]

**3. Александров П.Н., Кризский В.Н.** Прямая и обратная задачи сейсморазведки анизотропных и диспергирующих упругих сред на основе объемных интегральных уравнений. // Математическое моделирование. 2023. Т.35., № 5. С. 15-30. DOI: 10.20948/mm-2023-05-02 [Alexandrov P.N., Krizsky V.N. Direct and Inverse Problems of Seismic Exploration of Anisotropic and Dispersive Elastic Media on Volume Integral Equations // Mathematical Models and Computer Simulations, 2023, Vol.15, No. 6, pp. 976-986. DOI: 10.1134/S2070048223060042 ] (WoS, Scopus Q3)

**4. Кризский В.Н., Александров П.Н.** Об определении удельной электропроводности локального включения кусочно-постоянной среды. // Физика Земли – 2023. – №6 – С. 259-268, DOI: 10.31857/S0002333723060108 [Krizskii V. N., Alexandrov P.N. On Determination of the Electrical Conductivity of a Local Inclusion of a Piecewise-Constant Isotropic Medium // Izvestiya, Physics of the Solid Earth. 2023. V 59. №6. pp. 1056-1065. DOI: 10.1134/S1069351323060101(WoS; Scopus Q2)]

## НАПРАВЛЕНИЕ: ФИЗИЧЕСКИЕ НАУКИ

### ТЕРМОЭМИССИОННЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ НА ОСНОВЕ ГРАФЕНОВЫХ СТРУКТУР – ГЛОБАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ МИРОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ БУДУЩЕГО

*Авторы: А.С. Мустафаев, В.С. Сухомлинов, А.Ю. Грабовский.*

Согласно вышеуказанным публикациям и открытию № 660, зарегистрированному в 2018 году Международной академией авторов научных открытий и изобретений РФ, сотрудниками Горного университета установлено новое явление фазового превращения аморфного мелкодисперсного углерода (рисунок 1) в графеноподобную структуру (рисунки 2, 3) с аномально низкой работой выхода порядка 1 эВ в плазме.

Разработка относится к приоритетному направлению науки «Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика», «Технологии получения и обработки функциональных наноматериалов» и позволяет создать новые термоэмиссионные преобразователи (ТЭП) прямого превращения тепловой энергии в электрическую с высоким к.п.д. для наземных и космических энергетических установок нового поколения.

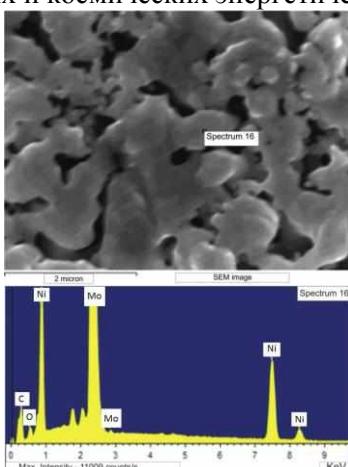


Рисунок 1 – Аморфный графит  
(SEM и спектр микроанализа)

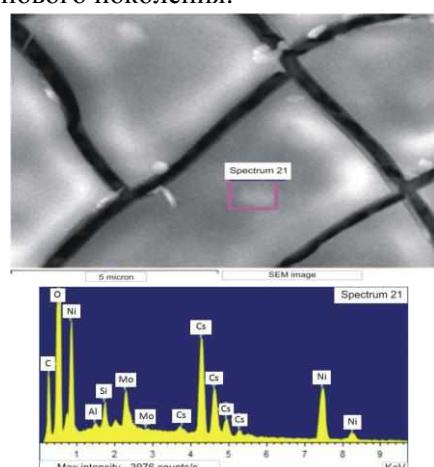
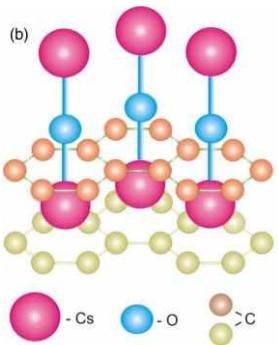


Рисунок 2 – Графен-графитовая  
структура (SEM и микроанализ)



**Рисунок 3 – Атомарная 3D модель графен-графитовой структуры**

Горный университет, имея значительный научно-технический задел в области фундаментальных и прикладных исследований физики плазменных нанотехнологий, предлагает проект трехкратного увеличения к.п.д. термоэмиссионных преобразователей энергии, что уже сегодня обеспечивает практическую возможность создания наземных и космических ядерных энергетических установок нового поколения.

В экспериментальном ТЭП впервые в режиме генерирования электрической энергии с динамической подачей пара цезия в межэлектродный зазор получено значение к.п.д. порядка 26% при температуре эмиттера  $T_E \sim 1600$  К и температуре коллектора  $T_C \sim 700$  К. Уникальное сочетание относительно низкого значения  $T_E$  с высоким к.п.д. термоэмиссионной системы открывает перспективу внедрения этих систем в наземную автономную малую ядерную энергетику прямого преобразования энергии.

Э.д.с., развивающаяся ТЭП, в основном определяется работой выхода электронов (РВЭ) материала эмиттера, а потери выходного напряжения – РВЭ материала коллектора и плазменными потерями напряжения. Повышение эффективности ТЭП продемонстрировано экспериментально (рис. 2-3) путем прокачки паров цезия через никелевый коллектор с большим количеством отверстий диаметром 0.1 мм.

Результат достигнут за счет создания на поверхности коллектора двумерной графеновой структуры, интеркалированной атомами цезия.

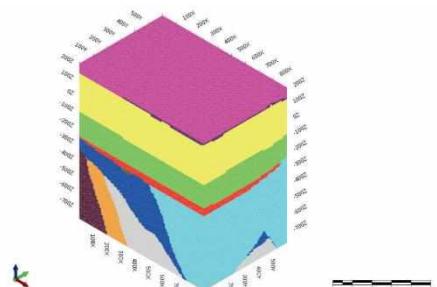
#### **Сведения об опубликовании:**

Journal of Applied Physics, 2018, Vol. 124, 123304; doi: 10.1063/1.5037028, 2022, Vol. 132, 013302; doi: 10.1063/5.0088220, Russian Journal of Physical Chemistry B, 2015, Vol.9, No.4, pp.546–551; 2017, Vol.11, No.1, pp.118–120, патенты РФ № 2727927 от 27.07.2020 и № 2790797 от 28.02.2023

## **2.20. НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИСИС»**

Специалисты НИТУ МИСИС первые в России разработали программное обеспечение, которое автоматически строит 3D-модель месторождения и оценивает количественное распределение полезных ископаемых в нём с помощью нейронных сетей.

(doi 10.25018/0236\_1493\_2022\_10\_0\_5)



*Блочная трехмерная модель, предсказанная искусственной нейронной сетью*

## **КАФЕДРА ОБОГАЩЕНИЯ И ПЕРЕРАБОТКИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ И ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ**

1. Изучен вещественный состав хвостов сульфидной флотации лежалых хвостов обогащения комплексных оловосодержащих руд Хабаровского края. Установлен минеральный и химический состав сырья и распределение ценных компонентов по классам крупности; обоснован выбор схемы и реагентного режима извлечения минералов олова и других ценных компонентов;

2. Проведены тестовые испытания по подбору флотационных реагентов и определены оптимальные параметры реагентного режима флотационного обогащения сульфидной оловосодержащей руды Правоурмийского месторождения, обеспечивающие получение сульфидного медного концентрата с минимально возможным содержанием мышьяксодержащих минералов (арсенопирита и лёллингита);

3. Разработана технология флотационного обогащения труднообогатимой золото-сульфидной руды. Выявлены причины трудной обогатимости сырья. Определены прогнозные технологические показатели обогащения;

4. Установлены критические концентрации модификаторов, при которых происходит снижение флотоактивности как трудноокисляемых, так и легкоокисляемых сульфидов тяжелых металлов. Установлено, что соотношение компонентов сульфидрильных собирателей по-разному влияет на флотируемость пирита и арсенопирита;

5. Проведены исследования и разработана лабораторная технология выделения из отработанных химических источников тока (литий-ионных аккумуляторов) различных типов «черной массы», содержащей литий, кобальт, никель и другие ценные компоненты, с целью дальнейшей ее гидрометаллургической переработки. Наработана и передана Заказчику опытная партия (25 кг) «чёрной массы». Разработан технологический регламент лабораторной установки получения «черной массы» из отработанных ЛИА.

### **КАФЕДРА ЭНЕРГЕТИКИ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Обеспечение и реализация устойчивого повышения энергоэффективности предприятий угольной отрасли.

Эффективное ограничение феррорезонансных и коммутационных перенапряжений в сетях 6-10 кВ разрезов со снижением аварийных простоев высокопроизводительного технологического оборудования.

*Важнейшие научно-технические достижения подразделения в 2023 году*

Научно-техническое обоснование и реализация системного подхода РДСА к управлению энергетико-технологической результативностью основных производственных процессов предприятий угольной отрасли.

### **НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «ПРИКЛАДНАЯ ГЕОМЕХАНИКА И КОНВЕРГЕНТНЫЕ ГОРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»**

*Важнейшие научно-технические достижения подразделения в 2023 г.*

1. Представлен новый геотехнологический подход и принципы построения альтернативной конвергентной геотехнологии освоения соляных месторождений, основанные на идее изменения направления движения фронта очистной выемки, реализуемой в виде перехода от отработки полезного ископаемого горизонтальными камерами к вариантам восходящей или нисходящей их отработки вертикальными камерами цилиндрической формы методом выбуривания. Для расчетов устойчивости МКЦ за основу принята гипотеза Турнера-Шевякова для традиционных условий применения камерных систем разработки с оставлением МКЦ и вертикальных камер цилиндрической формы с оставлением целиков с отсекаемыми окружностями углами. Разработана методика аналитических расчетов для определения устойчивости конструктивных элементов сотовых горных конструкций МКЦ и определены условия ограниченности применения метода Л.Д. Шевякова для традиционных и новых систем. Представлен выборочный вариант численного моделирования НДС МКЦ с отсекаемыми вертикальными камерами цилиндрической формы углами и квадратной сеткой расположения камер для условий применения сотовых горных конструкций на глубине 600 м. Определено направление доработки методики аналитических расчетов параметров МКЦ для условий применения сотовых горных конструкций при различных вариантах исходного поля напряжений: гравитационного, литостатического и гравитационно-тектонического.

2. Исследован процесс формирования вторичного поля напряжений для условий разработки мощных рудных месторождений с применением каркасной горной конструкции,

на примере подготовки и отработки единичного блока. Для количественной оценки степени изменения исходного поля напряжений при ведении горных работ вводятся новые показатели — коэффициент влияния и рейтинг устойчивости массива. По результатам численного моделирования с учетом калибровки модели при поэтапном построении горной конструкции определены диапазоны изменения параметров исходного поля напряжений, геометрия контуров зон растягивающих деформаций с границами участков массива где регистрируются первые трещины и развиты до границы очистных пространств, выработка и камер. Установлено, что наибольшее влияние на развитие вторичного поля напряжений и на объемы формируемых зон растягивающих деформаций оказывает проходка выработок и отработка очистных камер, но при закладке выработанного пространства вмещающий массив приходит в свое исходное состояние. Наилучшие показатели коэффициента влияния с точки зрения устойчивости вмещающего массива получены после закладки выработок и камер. Предлагаемый подход позволяет эффективно оценивать НДС вмещающего массива в условиях влияния на него очистных пространств с применением систем разработки различного класса, в т.ч. новых каркасных и сотовых горных конструкций, и на стадии проектирования горных работ определять оптимальные параметры конструктивных элементов горнотехнических систем.

## **НАУЧНО-УЧЕБНАЯ ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ «ФИЗИКОХИМИИ УГЛЕЙ»**

*Важнейшие научно-технические достижения подразделения в 2023 г.*

1. Разработаны научно обоснованные рекомендации по формированию и представлению данных в информационных ресурсах о технологической и энергетической ценности и безопасности добываемых углей и товарной продукции, основанные на представлении в системах ЦДУ ТЭК и ГИС ТЭК дополнительной информации о качестве углей и угольной продукции, и введении для них дополнительных позиций в классификаторах, гармонизированных с кодами предлагаемого ОКПД;

2. Разработаны методические рекомендации по применению предлагаемого кодирования по ОКПД 2 при подтверждении соответствия угольной продукции, определении кодов ТН ВЭД, тарификации перевозок, статистике и наблюдении, основой которых является разработка и внедрение Технических условий для разных направлений использования добываемых углей и продукции. Показано, что гармонизация новой классификации углей для НДПИ с предлагаемым классификатором ОКПД 2 основана на использовании вместо марок наименования продукции, учитывающего направление ее использования и способ получения продукции;

3. Разработана «Методика определения содержания потенциально опасных элементов в угольной пыли»;

4. Разработана и аттестована «Методика измерений массовой доли органического углерода в пробах отходов добычи, переработки, обогащения и сжигания твердого минерального топлива гравиметрическим методом» (№ 241.0041/RA.RU.311866/2023);

5. Оформлено Ноу-Хай «Параметры и характеристики для комплексов петрографического и рефлектометрического анализа углей «Уголь Эксперт» (№38-608-2023);

6. Зарегистрирована Программа для петрографического и рефлектометрического анализа углей «Уголь Эксперт» (№2024611112);

7. Разработаны базы данных для экспресс-диагностики минерального состава вскрышных и вмещающих пород угольных месторождений и минеральных включений в углях методом Рамановской спектроскопии;

8. Разработано «Руководство по определению способности углей к разрушению с образованием тонкодисперсной пыли»;

9. Разработана «Методика оценки поглощающей способности материалов для обоснования выбора технологий улавливания и захоронения парниковых газов»;

10. Разработан стандартный образец утвержденного типа ГСО «Стандартный образец состава угля каменного Кузнецкого бассейна (УК-2 СО МИСИС)»;

11. Разработан Стандарт предприятия по отбору вскрышных пород, образующихся при технологических работах по добыче угля для определения опасных свойств отхода.

## **2.21. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ ТУЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

### *Кафедра геотехнологий и строительства подземных сооружений*

В 2023 году кафедра геотехнологий и строительства подземных сооружений продолжила активную работу как в области научных исследований, так и при реализации модели профессионального образования и подготовки кадров высшей квалификации по приоритетному направлению развития науки, технологии и техники РФ – рациональному природопользованию. Исследования кафедры соответствуют критическим технологиям РФ «Технологии поиска, разведки, разработки месторождений полезных ископаемых и их добычи» и «Технологии мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды, предотвращения и ликвидации ее загрязнения».

На кафедре работает 7 штатных преподавателей. На декабрь 2023 г. за кафедрой закреплено 10 аспирантов очной и заочной формы обучения и 1 докторант. Руководство аспирантурой осуществляют 5 докторов наук.

Набор в аспирантуру осуществлялся по трем научным специальностям: 1.6.21 «Геоэкология» (группа научных специальностей 1.6 «Науки о Земле и окружающей среде»); 2.8.6 «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика» и 2.8.8 «Геотехнология, горные машины» (группа научных специальностей 2.8 «Недропользование и горные науки»); работает диссертационный совет Д 24.2.417.04.

При выполнении ряда научно-исследовательских и диссертационных работ были проведены комплексные исследования, общие результаты которых сводятся к следующему.

В области *геоэкологии, подземной геотехнологии и геоинформационных систем* были установлены новые и уточнены существующие закономерности оценки экологического состояния горнопромышленного региона для обоснования эффективных управленческих решений в процессе проектирования и эксплуатации горнотехнических систем.

#### Основные выводы и результаты:

1) предложены теоретические основы разработки методологии комплексной оценки последствий добычи угля с использованием средств имитационного моделирования воздействия на окружающую среду для принятия управленческих решений в процессе проектирования и эксплуатации горнотехнических систем;

2) показано, что совершенствование и реализация механизма природопользования угледобывающими предприятиями Кузбасса с изменяющимися горно-геологическими условиями обеспечивается применением разработанных методов моделирования и пространственного анализа, используемых для решения задач прогнозирования опасных экологических ситуаций в зоне ведения горных работ;

3) разработана математическая модель комплексной оценки экологических показателей, а адаптивность модели заключается в возможности решения обратной задачи нахождения значений входных параметров для достижения заранее заданной величины оценки;

4) разработана типовая конфигурация информационно-аналитического обеспечения в виде ГИС-приложения, отличающаяся использованием средств электронного картографирования и имитационного моделирования экологической ситуации в районе размещения угледобывающих предприятий, что повышает достоверность и визуализацию получаемых результатов для принятия эффективных управленческих решений;

5) установлена обобщенная закономерность для определения величины мощности пылегазовых выбросов, объема сбросов и площади нарушенных земель от производственной мощности шахт, позволяющая с помощью настроенных коэффициентов проводить расчет показателей воздействия на компоненты окружающей среды для каждого горного предприятия;

6) установлены новые закономерности формирования пылегазовых выбросов, сбросов и нарушения земель при подземной угледобыче, позволяющие обосновать комплекс мероприятий для обеспечения экологической безопасности в угледобывающем регионе;

7) разработан комплекс программных средств, позволяющий прогнозировать степень воздействия подземной добычи угля на окружающую среду, имеющий возможность

настройки модели под реальный объект исследования на основе актуализированных данных геомониторинга экологических показателей;

8) предложена концептуальная модель построения пространственных компьютерных геоизображений новых видов, имеющая возможность исследовать динамику появления и развития зон техногенеза для выработки рекомендаций по снижению техногенной нагрузки при ведении работ по выемке полезных ископаемых;

9) доказано, что нарушенность земель, пылегазовые выбросы в атмосферу, в том числе, выбросы твердых веществ, газообразные выбросы; выбросы сернистого ангидрида, оксида углерода, диоксида азота и прочих веществ, а также сбросы жидких загрязнителей линейно зависят от производственной мощности шахт, электропотребления и времени. Коэффициент регрессии этих зависимостей изменяется в пределах от 0,61 до 0,96, а F-критерий изменяется от 1,1 до 18,8;

10) рассчитаны показатели техногенного воздействия при увеличении объемов угледобычи в Кузбассе. При увеличении добычи угля с 241,5 до 370 млн. тонн (на 130 млн тонн или в 1,5 раза), показатели техногенного воздействия в 2035 году возрастут по сравнению с 2017 годом: масса загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферный воздух на 49,6%; объем сброса загрязненных сточных вод – 49,5%; площадь нарушенных земель – на 92,9%; объем отходов производства на 38,7%.

В области **строительной геотехнологии** и **геомеханики** уточнены геотехнологические закономерности строительства тоннелей глубокого заложения в протерозойских глинах и снижения вертикальных деформаций подработанного массива для обеспечения технологической безопасности тоннелей в периоды строительства и эксплуатации.

#### Основные выводы и результаты:

1) снижение вертикальных деформаций подработанного массива и обеспечение технологической безопасности тоннелей в периоды строительства и эксплуатации достигаются применением усовершенствованных технологических операций выемки пород в забое, закреплением контурного массива и использованием передового крепления, а ожидаемые напряженно-деформированные состояния массива оценивают по результатам математического моделирования;

2) применительно к рассматриваемым условиям деформирования грунта для решения уравнений движения деформируемых горных пород, бетона или чугуна обделки, а также уравнений равновесия деформируемых горных пород и крепи целесообразно осуществлять, используя конечно-элементные модели, разработанные в программном геотехническом комплексе Plaxis, основанном на методе конечных элементов;

3) снижение деформаций грунтового массива осложняется тем, что часть из них проходит в пространстве перед выработкой, поэтому особый интерес представляет использование опережающей крепи. На практике опережающая крепь, как правило, – это комбинация полимерных анкеров и металлических труб. В этом случае при моделировании грунтовый массив был представлен объемными элементами, деформирование которых происходило по закону Мора-Кулона;

4) на расстоянии 4-6 м от груди забоя наблюдается область грунтового массива, не задействованного в деформациях. Устройство опережающей крепи выполненной в скважинах с применением фиберглассовых анкеров и цементно-песчаного раствора позволяет значительно снизить деформации грунтового массива за плоскостью груди забоя по оси тоннеля, за счет включения этой области в процесс деформаций. Следует отметить, что после определенного количества анкеров дальнейшее увеличение их количества малоэффективно. Оптимальное их количество зависит от длины заделки, жесткости анкеров и физико-механических свойств грунтового массива;

5) выявлено 38 городских локаций для перспективного воссоздания утраченных объектов культурного наследия, из которых большая часть приходится на центральные и смежные с ними районы Санкт-Петербурга. Не менее 30% объектов, восстановление которых возможно в среднесрочной перспективе, могут оказывать влияние на существующие коллекторные тоннели. В таких случаях требуется свести к минимуму влияние строительных работ на технологическое состояние коллекторных тоннелей;

6) требования по уменьшению осадок дневной поверхности обуславливает необходимость укрепления грунтового массива в направлении проходки выработки и обоснования методов рационального использования опережающей крепи, кровли и груди забоя. На данный момент рациональным является использование анкерной крепи, в том числе из стекловолоконной арматуры, широко применяемой в зарубежной практике;

7) для повышения устойчивости груди забоя ему придают вогнутое очертание с применением анкерной крепи из фиберглассовых анкеров и нагнетания набрызгбетона на поверхность. Так же следующим методом повышения устойчивости выработки является использование наклоненного забоя. Таким образом, снижается способность забоя деформироваться и, как следствие, присутствует некоторое снижение деформации дневной поверхности;

8) установлено, что под действием сил гравитации может формироваться вывал грунта в сторону выработки, при этом форма плоскости скольжения будет определяться дилатационной моделью. Так, некоторым трещинам нужно больше пространства для их появления, поэтому они образуются позже;

9) моделирование формы вывала грунта из кругового забоя в твердых глинах позволяет утверждать, что в этом случае приемлема модель Кулона-Мора. Постепенное увеличение массы забоя вызывает сначала падение отдельных нарушенных кусков, затем пластические точки возникают над поверхностью марчеван приблизительно на 0,5 м в высоту и простираются на 1 м вглубь массива и происходит расслоение глин, формирующее клинообразный вывал, который начинает развиваться в сторону земной поверхности.

#### **В 2023 году по кафедре получены следующие научно-технические результаты:**

- подготовлены и защищены 1 докторская и 1 кандидатские диссертации;
- изданы 4 подписных издания «Известия ТулГУ. Науки о Земле» (издание «Известия ТулГУ. Науки о Земле» включено в международную базу цитирования Web of Science, статьям присваивается индекс DOI);
- публикационная активность: количество статей в научных периодических изданиях, включенных в международную базу цитирования Scopus – 2; количество статей в научных периодических изданиях, включенных в международную базу цитирования Web of Science – 30; количество статей в журналах, принадлежащих к первым двум квартилям международных баз цитирования Web of Science и Scopus – 2; количество статей в научных периодических изданиях, включенных в международную базу цитирования РИНЦ – 36;
- по результатам обучения в аспирантуре подготовлены 2 аспиранта, получившие квалификацию «Преподаватель. Преподаватель-исследователь».

### **2.22. ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

#### **Геомеханика**

В 2023 году в Международном научно-исследовательском центре геомеханики сильно сжатых горных пород и массивов Политехнического института (Школы) ДВФУ, в соответствие с Программой развития получены следующие результаты:

1. Центр переименован в Международный научно-образовательный Центр геомеханики сильно сжатых горных пород и массивов Политехнического института (Школы) ДВФУ. Центр включает в себя Лабораторию сильно сжатых горных пород и массивов, Лабораторию геоматериалов, глубокорасположенный геодинамический полигон (рудник Николаевский, г. Дальнегорск) и Лабораторию подготовки образцов горных пород.

2. Продолжены исследования состояния сильного сжатия образцов горных пород комплексным акустико-эмиссионным и деформационным методом и установлены закономерности формирования мезотрещинных структур контрастного типа в предразрушающей области нагружения.

3. Установлен симметричный характер мезотрещинных структур контрастного типа в образцах горных пород при одноосном сжатии.

4. Получены экспериментальные результаты, подтверждающие возможность получения краткосрочного надежного предвестника макроразрушения образцов горных пород при одноосном сжатии.

5. В рамках натурных исследований разработан метод определения характеристик зональной структуры разрушения массива вокруг подземных выработок, заключающийся

в том, что по данным экспериментов с образцами и по эмпирическим зависимостям, связывающим расстояние от центра выработки до середины первой зоны разрушения с пределом прочности пород, определяются параметры модели, учитывающей развитие в массиве на большой глубине мезотрещинных структур зонального типа, а количество, протяженность зон и расстояние между ними определяются расчетом.

6. С использованием неевклидовой модели самоуравновешенных напряжений теоретически обосновано наличие зональной структуры разрушения в массиве горных пород вокруг выработки в условиях глубокорасположенного геодинамического полигона на руднике Николаевский на глубине 400 м и более.

7. Установлены закономерности изменения параметров мезоструктуры глубокозалегающем геодинамическом полигоне на руднике Николаевский, заключающиеся в том, что с изменением глубины протяженность первой и последующих зон разрушения увеличиваются вплоть до слияния контурной и первой зон разрушения.

8. Опубликованы 4 статьи в высокорейтинговых рецензируемых журналах (базы Web of Science & Scopus).

9. Проведены международные он-лайн семинары по вопросам Геомеханики сильно сжатых горных пород и массивов.

Работы выполнялись в рамках гранта Научного фонда Дальневосточного федерального университета – проект № 22-07-01-001 «Исследование параметров мезотрещинных структур горных пород как основа прогноза геодинамических явлений».

### **Строительная геотехнология**

Продолжены исследования в области рационального освоения подземного пространства мегаполисов. Разработаны проекты подземных сооружений г. Владивосток, являющиеся альтернативой строительства транспортной системы программы Большой Владивосток. По результатам совместной работы сделаны доклады на защите дипломных проектов. Возобновлен набор на специальность «Шахтное и подземное строительство».

### **Обогащение и глубокая переработка георесурсов**

В 2023 г. продолжилось проведение исследований бурых углей и торфов Приморья в качестве основных исходных материалов экстракции для получения угольных и торфяных гуминовых препаратов. Исследованы возможности диверсификации действующих предприятий по добыче бурых углей за счет глубокой переработки сырья и выпуска гуминовых препаратов. Продолжены исследования по применению компонентов гуминовых и фульвокислот бурых углей и торфов в качестве базы удобрений для органического земледелия. Выполнены работы по повышению уровня готовности (TRL) прототипов органических и органоминеральных удобрений из угольного и торфяного сырья.

Исследованы параметры эффективного гранулирования гуматосодержащего сырья для получения товарной продукции гранулированных удобрений для механизированного внесения в почвы. Экспериментально исследованы параметры и технологические режимы грануляции в присутствии цеолитсодержащих связывающих компонентов.

Начаты работы по лабораторному исследованию цеолитов Приморского края в качестве матриц для удобрений и реагентов с контролируемым высвобождением (Controlled release fertilizers/CRFs). Совместно с Дальневосточным геологическим институтом ДВО РАН на базе Аналитического центра института начаты исследования пористых структур цеолитов Чугуевского месторождения. Проведены исследования эффектов насыщения структур цеолитов органическими смесями, содержащими компоненты фульвовых и гуминовых кислот. Установлены параметры насыщения цеолитсодержащих матриц для разработки технологических схем получения CRF продуктов для сельского хозяйства и экологической очистки.

Совместно с коллективом молодых ученых выполнены работы по проекту «Разработка и исследование прототипа органического реагента пролонгированного действия для ликвидации нефтяных загрязнений почв», поддержанному Фондом содействия инновациям. Подтверждено, что высокоразвитая пористая открытая микроструктура природных цеолитов Приморского края определяет их уникальные адсорбционные свойства. Обезвоженные

путем нагревания минералы цеолитов приобретают способность адсорбировать молекулы различных веществ, при условии, если их размеры не превышают диаметра входных окон сорбента. Повышение эффективности цеолитов было обеспечено органоминеральным комплексом, содержащим гранулированный цеолит и иммобилизованным на его поверхность консорциумом микроорганизмов биодеструкторов, позволившим получить средство доставки субстрата-носителя пролонгированного действия, насыщенного гуминовыми веществами и бактериями. Разработаны прототипы реагентов на основе матриц цеолитов, обеспечивающие возможность ремедиации промышленных почв, загрязненных нефтепродуктами.

Совместно с Дальневосточным геологическим институтом ДВО РАН начаты работы по созданию инвестиционных паспортов минерально-сырьевой отрасли Дальневосточного федерального округа, основанных на возможности комплексно глубокой переработки минерального сырья с получением продукции высокого передела, востребованной на внешнем и внутреннем рынках. Разработана структура комплексного документа, включающего сведения об актуализированном перспективном ресурсном потенциале минерально-сырьевой отрасли территории, возможностях применения технологий комплексной глубокой переработки сырья на конкретных объектах недропользования, возможностях и условиях локальных преференциальных режимов, значимых для принятия инвестиционных решений и привлечения отраслевых инвесторов для развития горной промышленности ДФО и диверсификации линейки выпускаемой продукции.

## **2.23. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ЮГО-ЗАПАДНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

### ***Факультет строительства и архитектуры Кафедра экспертизы и управления недвижимостью, горного дела***

За период 2022-2023 учебного года исследования проводились в следующих направлениях:

1. Подготовка специалистов в области горного дела (доц. к.п.н. Семенова Л.А.; аспиранты направления 21.06.01 «Геология, разведка и разработка полезных ископаемых» Семенов Д., Сабельников А., Бречалов Д.; проф. Хаустов В.В.);
2. Изучение загрязнения подземных вод хозяйственно-питьевого назначения в районе КМА (проф. Хаустов В.В.).
3. Проблемы эксплуатации восстающих дренажных скважин на Михайловском ГОКе (проф. Хаустов В.В.).

### **Подготовка специалистов в области горного дела**

За период 2022-2023 учебного года ППС кафедры продолжили исследования в области проблем профессиональной подготовки специалистов по горному делу. Работы Семеновой Л.А. по реализация идеи народности в образовательном процессе СПО при подготовке специалистов по горному делу. Статьи посвящены 200-летию со дня рождения великого русского педагога. Целью исследования является соотнесение идеи народности образования и воспитания, сформулированной К.Д. Ушинским, с традиционными и новыми подходами к изучению литературы в профессиональной подготовке.

Продолжилось исследование проблемы подготовки кадров для горной промышленности. Авторы предлагают один из способа решения данной проблемы в организации учебных центров при предприятиях, учитывая опыт СПО при организации обучения Профессионалитету.

Аспирантами кафедры были исследованы проблемы создания интеграционного образовательного пространства для подготовки конкурентоспособного специалиста в области горного дела. Функционирование интеграционного образовательного пространства станет возможным, по мнению авторов, на основе принципа преемственности СПО и ВО.

Проф. Хаустовым В.В. проанализированы принципы содержания учебного курса «Региональная гидрогеология». Автором предложен оригинальный методический подход

в освещении оценки гидрогеологических условий того или иного региона с учетом современных положений глубинной геодинамики и теории тектоники литосферных плит (геодинамический подход). Главной отличительной особенностью подобного подхода является рассмотрение не абсолютно всех гидрогеологических структур (традиционный подход), а только тех из них, которые контрастно иллюстрируют определенный тип современного геодинамического режима, влияющего на формирование подземных вод.

### **Изучение загрязнения подземных вод хозяйственно-питьевого назначения в Районе КМА**

В работах проф., д.г-м. наук Хаустова В.В. определены источники и пути негативного воздействия на гидрохимический режим подземных вод, выполнен анализ данных гидрохимического опробования скважин режимной сети Стойленского ГОКа, представлен прогноз загрязнения подземных вод в зоне влияния отмеченных объектов Стойленского и Лебединского ГОКов, выполненный «Геолинк Консалтинг» методом численного моделирования, проанализирована степень сходимости фактических и модельных данных.

### **Проблемы эксплуатации восстающих дренажных скважин на Михайловском ГОКе.**

При исследовании проблемы эксплуатации восстающих дренажных скважин на Михайловском ГОКе В.В. Хаустов приходит к выводу о том, что отличительной особенностью системы водозащиты карьера Михайловского ГОКа является использование заглубленного карьерного водоотлива, что позволило исключить работы по эксплуатации насосных станций, расположенных в рабочей зоне карьера. Это позволило сократить время простоя добывного оборудования на дне карьера и подтопление нижних уступов в ливневый и паводковый периоды.

#### **Список литературы:**

1. Кирюхин В.А. Региональная гидрогеология. // СПб: Наука. - 2005. - 344 с.
2. Гидрогеология СССР. Сводный том в пяти выпусках. Выпуск 1. Основные закономерности распространения подземных вод на территории СССР. / М.: Недра. - 1976. - 656 с.
3. Овчинников А.М. Общая Гидрогеология. // М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по геологии и охране недр. - 1955. - 383 с.
4. Зайцев И.К. Основные типы гидрогеологических структур СССР. // Ленинград: Труды ВСЕГЕИ. Том 229. - 1974. - 92 с.
5. Пиннекер Е.В., Писарский Б.И., Шварцев С.Л. и др. Основы гидрогеологии. Общая гидрогеология. // Новосибирск: Наука, Сиб. Отделение. - 1980. - 231 с.
6. Кирюхин В.А., Толстыхин Н.И. Региональная гидрогеология. // М.: Недра. - 1987. - 382 с.
7. Всеволожский В.А. Основы гидрогеологии. // М.: Из-во МГУ. - 2007. - 448 с.
8. Мартынова М.А., Собакин О.Н., Хаустов В.В. О новом подходе к структуре и содержанию курса «Региональная гидрогеология». // Международный симпозиум «Будущее гидрогеологии: современные тенденции и перспективы». / СПб: Из-во СПбГУ. - 2007. - С. 103-104.
9. Судариков С.М. О районировании подвижных гидрогеологических областей Океана (на примере Срединно-Атлантического хребта). // Гидрогеология и Карстоведение. Пермь-Оренбург: Вып. 19. - 2013. - С. 37

### **2.24. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «МАГНИТОГОРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Г.И. НОСОВА» ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА И ТРАНСПОРТА**

#### **Геотехнология**

Тенденция открытой геотехнологии последних лет направлена на получение недропользователем широкого спектра видов и ассортимента сортов товарной продукции с целью получения максимальной прибыли от реализации готовой продукции с заданными потребительскими и технологическими свойствами, что в первую очередь характерно для сложноструктурных месторождений. Установлено, что в современных условиях эффективность

функционирования горных предприятий достигается управлением качеством минерального сырья, где оценка качества выполнения горных работ осуществляется отдельно по технологическим процессам и переделам, поэтому на этапе подготовки пород к выемке должны учитываться требования потребителей к минеральному сырью и конечной продукции.

Разработана новая научная концепция управления качеством минерального сырья сложноструктурных месторождений на этапе подготовки горных пород к выемке, учитывающая принципы разрушения массивов горных пород при формировании в них структурных элементов раскрытия и разделения по критерию оптимальной интегральной энергоемкости процесса подготовки пород на стадиях добычи и переработки. Введены: классификация по сложности структурного строения месторождений (участков) твердых полезных ископаемых и уточненная трактовка понятия сложноструктурного месторождения; новый показатель - интегральная энергоемкость процессов разрушения горных пород.

Определены механизмы разрушения сложноструктурного массива согласно волновой и динамической теории взрыва с учетом гипотез дробления горных пород энергией взрыва, оказывающие влияние на селективное разрушение при условии равенства или превышения критических значений скоростей смещения массива горных пород, генерируемых взрывом с учетом применения принципа автомодельности.

Обоснованы: новые геотехнологические решения по управлению качеством минерального сырья при открытой разработке сложноструктурных месторождений при подготовке горных пород к выемке; методика районирования природных массивов по структурным характеристикам и вещественному составу, типу и сортам товарной продукции, учитывающая при обосновании параметров процессов подготовки и механического дробления горных пород показатель качества массива RQD и трещиноватость; методика выбора технологии и обоснования параметров буровзрывной подготовки горных пород сложноструктурных месторождений к выемке, основанная на установленных зависимостях конструктивных параметров скважинных зарядов от требований кондиций, гранулометрического состава и учитывающая потери и разубоживание полезных ископаемых в зонах структурных нарушений и контактов с вмещающими породами.

Разработана комплексная методика оперативного определения параметров буровзрывной подготовки горных пород сложноструктурных месторождений к выемке, позволяющая учесть конструктивные особенности и энергетические характеристики скважинного заряда. Определены и систематизированы масштабные коэффициенты, учитывающие: одновременность наложения прихода возмущений к охраняемому объекту от мгновенно взываемых участков массива горных пород в различных разноудаленных блоках при каскадных взрывах; рельеф в зависимости от его неоднородности и расположения заряда ВВ, что обеспечивает увеличение акустической нагрузки до 2 раз и снижение избыточного давления до 40% в воздухе.

Реализация методики выбора технологии и обоснования параметров подготовки горных пород сложноструктурных месторождений к выемке при открытой геотехнологии, оптимизирующей интегральную энергоемкость и приведенную глубину заложения скважинного заряда, позволила обеспечить повышение качества и расширение номенклатуры товарного минерального сырья при комплексном освоении месторождений твердых полезных ископаемых Урала и Сибири с соблюдением требований промышленной и экологической безопасности.

Апробация результатов исследований проводилась на месторождениях Челябинской области: строительных материалов – Доломитовое, Известняковое, Кизильское, Абзаковское, Еленинское и Полоцкое; железорудном – Малый Куйбас; угля Кузбасса – Талдинское. Подтвержденный годовой экономический эффект от реализации разработанных технологических решений по управлению качеством минерального сырья и расширению спектра товарной продукции при освоении месторождений составил: Талдинское – 268,3 млн. руб., Еленинское – 57,2 млн. руб. и Полоцкое – 55,3 млн. руб.

### **Обогащение полезных ископаемых**

**Закончен второй этап исследований физико-химических закономерностей процессов механоактивации и флотации графитсодержащих пылей металлургических предприятий Магнитогорского МК.**

Получены следующие основные результаты. Доказано, что изменение условий формирования железографитовой пыли обуславливает наличие у компонентов пыли специфических технологических свойств, определяющих ее обогатимость и необходимость учета этих особенностей при разработке технологии переработки. Поверхность и пространство между чешуйками графита загрязнены железосодержащими сферами. Для пыли ККЦ (в отличие от других пылей) установлено закономерное получение железного продукта с содержанием железа 71,5% отсевом частиц крупностью меньше 0,1 мм. В целом для отделения примесей от графита для всех пылей необходима дезинтеграция способом, позволяющим максимально сохранить размер чешуек графита. Экспериментальными результатами обосновано применение для этой цели в случае пыли ДЦ и ЭСПЦ центробежно-ударного измельчения, для пыли ККЦ шарового измельчения. При изучении пневмоклассификации установлено разделение не по размеру, а по весу частиц, о чем свидетельствует вид кривых Тромпа и значение рассчитанного показателя Терра 0,5–0,9. Увеличение тонины помола повышает степень селективности пневмоклассификации. Наилучшие результаты разделения материала получены при измельчении графитовой пыли до 0,1 мм. При флотации графитовой пыли, измельченной в комплексе КИ-0,36 (частота вращения ротора динамического классификатора 3000 об/мин, диаметр колеса 0,4 м, классификация по граничному зерну 0,071 мм) происходит селективное отделение железосодержащих частиц с поверхности графитовых чешуек без нарушения формы измельчаемых частиц. Достигнутая массовая доля углерода в графитовом концентрате 94% (без химической доводки) при его извлечении 99,56%. Рациональные параметры мокрой магнитной сепарации пыли ДЦ – крупность шарового измельчения до 70,88% кл.-0,071 мм и напряженность магнитного поля 88 кА/м. При энергетически более выгодном центробежно-ударном измельчении выход концентрата вырос в 2 раза, извлечение углерода на 26 абс. % при сохранении качества. Анализом кинетики флотации установлено, что скорость флотации возрастает в ряду пылей ДЦ, ККЦ, ЭСПЦ. Количество извлеченных частиц меняется под действием механоактивации, как результата измельчения графитизированной спели в мельнице центробежно-ударного действия. Скорость флотации мелкого продукта классификации меньше, чем скорость флотации из крупного продукта, что обусловлено увеличением площади гидрофильтральных граней с уменьшением крупности частиц графита. Упор в исследованиях был сделан на одностадиальную химическую доводку. Установлено, что более эффективно использование смеси плавиковой и серной кислот. Увеличение добавки HF более 1% не приводит к значительному уменьшению зольности, снижение зольности аппроксимируется ( $R=0,9$ ) полиноминальным уравнением  $y=0,016x^2-2,06x+22,07$ , где  $x$  – С(HF)% в выщелачивающем растворе. При добавке HF до концентрации 1% к 10%-му раствору серной кислоты зольность концентрата после 90 мин. выщелачивания снижается с 22,0 до 11,2%. Зольности снижается с увеличением мощности ультразвуковой обработки при выщелачивании и достигает 2% при частоте 30 кГц и звуковом давлении 80 кПа. Установлено, что из флотационного концентрата с зольностью 15-20% путем его интеркалирования  $K_2Cr_2O_7+H_2SO_4$  и терморасширения (400 град. С) может быть получен магнитоактивный сорбент, пригодный для сбора нефтепродуктов с поверхности воды (объемный весом 31,25 мг/см<sup>3</sup>, ёмкость 16-19 г/г. обычных нефтепродуктов. На основании выполненных исследований разработаны три схемы обогащения пылей: ДЦ, ККЦ и ЭСПЦ с получением конечного графитового концентрата с содержанием углерода 98%. Из концентратов флотации может быть получен терморасширенный графит с магнитными свойствами. Полученные результаты могут быть использованы на металлургических предприятиях полного цикла для утилизации железографитовых пылей путем организации участков по их безотходной переработке с получением чешуйчатых графитовых концентратов широкой номенклатуры и кондиционного железного концентрата.

**Закончен второй этап обоснования параметров сложноструктурного техногенно-го минерального сырья** для селективной центробежно-ударной дезинтеграции. Проведена систематизация способов разрушения шлаков по критериям селективности и энергоэффективности. Проведена классификация факторов, влияющих на процесс разрушения куска материала в рабочем пространстве центробежно-ударной дробилки. Факторы были разделены на две основные группы, исходя из принципа работы центробежно-ударной дробилки

и анализа уравнения, описывающего движение куска материала в рабочем пространстве дробилки. Первая группа факторов относится к разрушающему материалу: масса куска и соотношение массы куска и дробящего органа, физико-механические и упругопластические свойства дробимого материала. Вторая группа факторов относится к конструктивно-режимным параметрам самой дробилки: конструктивные (радиус диска ротора) и технологические параметры аппарата (скорость удара). Определена схема силового взаимодействия при ударе куска материала об отбойную плиту центробежно-ударной дробилки. Для установления взаимосвязи параметров работы центробежно-ударной дробилки и физико-механических свойств разрушающего материала, математически было получено выражение зависимости линейной скорости куска (при сходе с ускорителя дробилки), необходимой для его разрушения от свойств разрушающего материала. Составлена схема силового взаимодействия при ударе куска материала об отбойную плиту центробежно-ударной дробилки, с учетом распределенного характера инерционных нагрузок, обусловленных резким его торможением на плите. Проанализировано влияние упругопластических свойств фаз, геометрии зерен отдельных фаз на величину изгибающих напряжений в зерне и на результат разрушения. Получена математическая зависимость, которая связывает необходимую для разрушения куска силу динамического взаимодействия соударяющихся куска и отбойной плиты центробежно-ударной дробилки с физико-механическими характеристиками разрушающего материала, его размерами и со скоростью вращения ускорителя. Разработана электронная форма в программе Microsoft Excel для прогнозирования изменения дисперсного состава конверторного шлака при дроблении в центробежно-ударной дробилке ДЦ в зависимости от его исходной крупности и скорости вращения ротора. Разработанная математическая модель позволяет проводить численные эксперименты по дроблению шлаков при возможности изменения крупности исходного куска и режимных параметров работы дробилки ДЦ, в частности, ее основного регулируемого параметра – скорости вращения ротора. Уточнена методика балльной оценки пригодности шлаков и клинкера к избирательному их раскрытию при ударном способе разрушения, разработанная на первом этапе выполнения работ. Были обоснованы граничные значения некоторых индивидуальных критериев, исходя из оценки пригодности шлаков к избирательному их раскрытию именно на стадии мелкого дробления, давности образования шлака/клинкера и степени метаморфизации в зависимости от условий хранения, и анализа результатов сравнительных исследований дробимости и раскрываемости лежалого и свежеобразованного клинкера. Были предложены некоторые дополнительные критерии балльной оценки. Уточнены границы интервальной оценки, характеризующие степень селективности дезинтеграции по интегративному критерию: 0÷5 – неселективная дезинтеграция; 6÷10 – дезинтеграция с низкой селективностью; 10÷15 – селективная дезинтеграция, 16÷20 – дезинтеграция с высокой селективностью. Разработана методика для определения содержания железа общего в металлоконтактной продукции крупностью более 20 мм. В методике осуществляется последовательное выделение металла на сетках с уменьшающимся размером ячейки при грохочении стадиально дробленого материала. По предложенной методике было рассчитано общее количество металловключений и содержание железа общего в металлоконтактной продукции фракций 8–50 мм и 0–65 мм.

#### **Изданы:**

##### **Журнал**

Недропользование и транспортные системы. – 2023 - № 1 – Т. 13 – 47с.

Недропользование и транспортные системы. – 2023 - № 2 – Т. 13 – 46с.

##### **Геология и маркишайдерское дело**

**Для условий месторождений Агаповское** флюсовых известняков и Малый Куйбас разработаны геомеханические модели, учитывающие геологическое строение месторождений, гидрогеологию, структурную нарушенность массива, существующее положение карьеров и отвалов, физико-механические и деформационные характеристики массивов в российской ГГИС ГЕОМИКС. Создана база данных трещин бортов карьеров, выявлены опасные системы трещин и участки карьеров, находящиеся в неустойчивом состоянии.

## **2.25. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

### **Направление: Новые технологии поиска и добычи минерального сырья**

1. Применение инновационной технологии электрохлоринации. Технический результат – повышение извлечения золота при обеспечении экологической безопасности процесса. Использование для растворения золота хлорсодержащих растворяющих агентов и получаемых в процессе водорода, кислорода и раствора едкого натрия позволяет преодолеть недостаток известных способов извлечения золота из золотосодержащего сырья, связанный с низким извлечением золота и низким уровнем экологической безопасности процесса. Установлено, что использование предлагаемого способа извлечения золота при явных экологических преимуществах приводит к повышению извлечения золота в золотосодержащий сплав на 17%.

*Морозов Ю.П., Вальцева А.И., Анакашев Р.А., Шевченко А.С.* Способ извлечения золота из золотосодержащего сырья. Патент на изобретение RU 2794160, опубл. 12.04.2023 Бюл. №11.

*Морозов Ю.П., Анакашев Р.А., Евграфова Е.Л., Упорова И.В., Вальцева А.И.* Способ извлечения золота из золотосодержащего сырья. Патент на изобретение RU 2799942, опубл. 14.07.2023 Бюл. №20.

2. Выполнение работ по оценке геологической, геохимической изученности и подготовке геологического обоснования ГДП-200 листа О-40-XXXV (Артинская площадь) составлены предварительные (проектные) карты геологического содержания (геологическая, полезных ископаемых, дешифрирование и пр. масштаба 1:200 000). Получено положительное заключение Государственной экспертизы на составленную проектную документацию по объекту работ.

В ходе работ установлен потенциальный источник алмаза, выявленного в 2022 году, который представлен сложнопостроенным телом флюидолитов сывленского комплекса раннемезозойского возраста. Получены его петрографические, петрохимические и геохимические характеристики. Так установлено, что изотопные отношения в флюидолите  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ -Sm/Nd характерны для щелочных внутриплитных базальтов, а отношения  $\text{SiO}_2/15\text{-K}_2\text{O-MgO}$  отвечают шошонитам континентальных рифтов. При этом на диаграмме хондрит-нормализованные спектры РЗЭ флюидолиты сывленского комплекса соответствуют кимберлит-лампроитовым составам и по большинству параметров сопоставимы с породами Чикманского рудного узла Вишерской алмазоносной провинции.

*Душин В.А., Суставов С.Г., Прокопчук Д.И., Волчек Е.Н.* Алмазоносные флюидолиты области сочленения Восточно-Европейской платформы и Уральской складчатой области. // Литосфера. - 2023. -№4. - Т. 23. - С. 637-653.

3. Разработана система оперативного учета производства железорудного сырья и методики составления товарного баланса полезных компонентов. Система прошла испытания на производственной линии обогатительной фабрики АО «ЕВРАЗ КГОК». Технология позволяет в режиме реального времени вести учет качественных характеристик процесса обогащения железорудного сырья и выдавать товарный баланс полезных компонентов, обеспечивающая повышение извлечения полезных компонентов из железорудного сырья на 1%.

*Морозов Ю.П., Завьялов С.С., Мамонов Р.С.* Магнитный сепаратор для мелкодисперсных сыпучих материалов. Патент на изобретение RU 2799682, опубл. 10.07.2023 Бюл. №19.

*Морозов Ю.П., Пеньков П.М., Козин В.З., Хамидулин И.Х.* Способ центробежной сепарации. Патент на изобретение RU 2799681, опубл. 10.07.2023 Бюл. №19.

4. Теория опробования минерального сырья. Основой теории является покусовой отбор точечных проб, обосновывающий принципиальную асимметричность распределений массовых долей в точечных пробах. Хотя и известен широкий ассортимент устройств для подготовки и анализа проб, ощущается недостаток пробоотборных инструментов, в особенности для отбора проб из емкостей. Удачным решением в этом явились разработка дисковых сократителей-пробоотбирателей, позволяющих с высокой производительностью

и предельно малой погрешностью осуществлять приемо-сдаточный контроль продаваемых и покупаемых продуктов. Снижение эксплуатационных затрат более чем в два раза и повышение точности опробования на порядок обеспечивает этому инструменту опробования хорошие перспективы для распространения. Расчеты случайных погрешностей результатов опробования, а также оценки специфических погрешностей – вероятной систематической и методической – позволяют на любой обогатительной фабрике оценить состояние опробования, снять возникающие проблемы и наметить конкретные решения для обеспечения качественных результатов.

1. Козин В.З., Комлев А.С. Балансы металлов на обогатительных фабриках. // Обогащение руд. - 2023. - №2. - С. 9-15.

2. Козин В.З., Комлев А.С., Ступакова Е.В. Зависимость допустимой погрешности анализов от массовой доли определяемого компонента. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. - №12-1. - С. 56-69.

3. Пеньков П.М., Морозов Ю.П., Хамидулин И.Х. Совершенствование центробежной сепарации на основе пневматической турбулизации пристеночного слоя конуса сепаратора. // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2023. - №12-1. - С. 120-133.

4. Козин В.З., Комлев А.С., Ступакова Е.В. Поправочный коэффициент к формуле погрешности сокращения проб. // Известия вузов. Горный журнал. - 2023. - №1. - С. 66-77.

5. Козин В.З., Комлев А.С. Горстевой способ отбора проб на обогатительных фабриках. // Известия вузов. Горный журнал. - 2023. - №6. - С. 68-78.

#### **Направление: Новые инструменты минимизации экологической нагрузки предприятий горно-металлургического и нефтегазового комплексов и их инфраструктуры**

1. Разработаны уникальный пробоотборник и система автоматизированного дистанционного экологического мониторинга атмосферы и гидросферы, изготовлен репрезентативный полнофункциональный образец, подтверждены рабочие характеристики в условиях, приближенных к реальности. Позволяет выполнять задачи по решению экологических проблем предприятий и территорий без непосредственного участия работников для проведения экологических изысканий на местности.



**Рисунок - Комбо-система дистанционного экологического мониторинга**

2. Запущен в опытную эксплуатацию программно-аппаратный комплекс «Система геокриологического мониторинга» на горно-обогатительном комбинате, расположенном в зоне развития многолетнемерзлых пород. ПАК «СГКМ» представляет собой сеть скважин, оснащенных термодатчиками с дистанционной передачей информации, программой обработки данных, базой инженерно-геологических данных и данных температурных наблюдений. Позволяет в режиме реального времени производить оценку изменения термодинамических условий грунтов оснований объектов строительства и зоны их теплового воздействия по отношению как к естественным условиям, так и условиям сформированных после ввода в эксплуатацию объектов и сооружений; осуществлять прогноз температурного режима грунтов горнорудных предприятий с целью недопущения перехода грунтов в талое

состояние, и как следствие развития деформаций снижающих эксплуатационную надежность зданий и сооружений, машин и механизмов.

3. Использование природных материалов в качестве сорбентов ионов тяжелых металлов. Использование торфа, диатомита и вермикулита в составе природных сорбентов для адсорбции тяжелых металлов из техногенных грунтов и загрязненных почв является перспективным способом рекультивации больших площадей нарушенных земель с одновременным повышением их плодородия и экологической безопасности. В экспериментах с однокомпонентными и композиционными сорбентами на пробах минерального грунта наблюдается иммобилизация ионов тяжелых металлов, что указывает на практической ценности сорбентов в решении экологических задач по рекультивации нарушенных земель. Представленные сорбенты возможно использовать в качестве мелиорантов-сорбентов ионов тяжелых металлов и варьировать состав сорбента в зависимости от целей использования: увеличивать долю природного компонента для повышения плодородия почвы или увеличивать долю техногенного компонента (осадков водоподготовки) для повышения адсорбционных свойств сорбента.

*Валиев Н.Г.О., Лебзин М.С., Усманов А.И., Завьялов С.С.* Использование торфа в качестве сорбента тяжелых металлов. // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2023. - № 3. - С. 137-146.

*Галактионова Л.В., Терехова Н.А., Лебедев С.В., Юрек В.В., Душин А.В.* Способ получения органического удобрения-мелиоранта. Патент на изобретение RU 2799681, опубл. 23.03.2023 Бюл. № 9.

4. Исследован комплекс физико-химических свойств осадков водоподготовки Западной фильтровальной станции г. Екатеринбурга для возможного повторного «зеленого» применения осадков в составе сорбентов - мелиорантов при рекультивации почв, загрязненных тяжелыми металлами. Установлено, что осадки водоподготовки представляют собой полидисперсную систему, характеризующуюся развитой поверхностью частиц, что имеет значение для почвенной иммобилизации тяжелых металлов. Осадки водоподготовки являются перспективным материалом для «зеленой» почвенной утилизации и могут выступать одним из основных компонентов сорбентов - мелиорантов, не требующих сложной подготовки и доступных по стоимости для широкого использования при рекультивации земель, загрязненных тяжелыми металлами. Емкость композитного сорбента-мелиоранта по отношению к тяжелым металлам довольно высока, что позволяет при его внесении в почву связывать и тем самым переводить в неподвижную форму большие количества распространенных токсичных металлов.

*Анакашев Р.А., Давыдов С.Я., Бакалейщик А.М., Лебзин М.С., Малышев А.Н.* Способ утилизации осадков сооружений водоподготовки. Патент на изобретение RU 2796171, опубл. 17.05.2023 Бюл. № 14.

*Юрак В.В., Анакашев Р.А., Лебзин М.С., Малышев А.Н.* Композитные сорбенты из природного и техногенного сырья: оптимизация состава для рекультивации. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2023. - № 12-1. - С. 177-191.

*Юрак В.В., Анакашев Р.А., Лебзин М.С., Малышев А.Н.* Оценка эффективности и экологичности сорбент-ориентированного метода восстановления загрязненных тяжелыми металлами и металлоидами почв. Горные науки и технологии. 2023. - № 4. - Т. 8. - С. 327-340.

#### **Направление: Цифровые производственные технологии**

Создан программно-аппаратный комплекс оцифровки забоя шахты, который обеспечивает создание 3D модели поверхности забоя шахты с применением лидаров и интеллектуальных нейросетевых алгоритмов. Используется для формирования паспорта буровзрывных работ и позиционирования технологического оборудования. Изготовлен и испытан экспериментальный образец в реальном масштабе по полупромышленной технологии, воспроизведены основные внешние условия. Обеспечивает снижение издержек на 10%, повышение качества дробления взрываемой породы на 5%, сокращение времени выполнения операции в 6 раз, выведение персонала из опасной зоны ведения горных работ.

## **2.26. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «СЕВЕРОКАВКАЗСКИЙ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»**

В 2023 году в ФГБОУ ВО «СКГМИ (ГТУ)» в рамках деятельности Центра разработки программ устойчивого развития горных территорий и АНО «Международный научно-технологический центр «Устойчивое развитие горных территорий. Горы» были проведены работы по реализации научно-исследовательских, научно-образовательных и научно-практических программ и проектов.

Сотрудники центров приняли участие в подготовке, организации и проведении научных мероприятий, проходивших на базе СКГМИ (ГТУ):

*1. Всероссийская (национальная) научно-практическая конференция «Современные научно-технические и социально-гуманитарные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации» (24-26 мая 2023 г.)*



**Фото 1 - Пленарное заседание Конференции**

В рамках Конференции обучающимися вуза были подготовлены и представлены доклады по направлению «Горные науки», три из которых посвящены тематики устойчивого развития горных территорий (Геопарки как основа современного природопользования», «Десятилетие СевероКавказского научного сотрудничества в области охраны и развития горных территорий» и «Перспективы нефтегазоносности меловых отложений РСО-Алания»).

*2. Всероссийский научный семинар с международным участием «Геология и экзогенные процессы Горной Осетии» (01 февраля 2023 г.)*



**Фото 2 - Участники семинара**

*3. Выставка научных достижений СКГМИ для МФТИ и Курчатовского института (20 октября 2023 года).*

Профессор кафедры горного дела д.т.н. Стадник Д.А. выступил с докладом «Производство цифровых моделей на базе центра «Аватар».

Кроме того, в 2023 году сотрудники приняли участие в иногородних и международных научных мероприятиях:

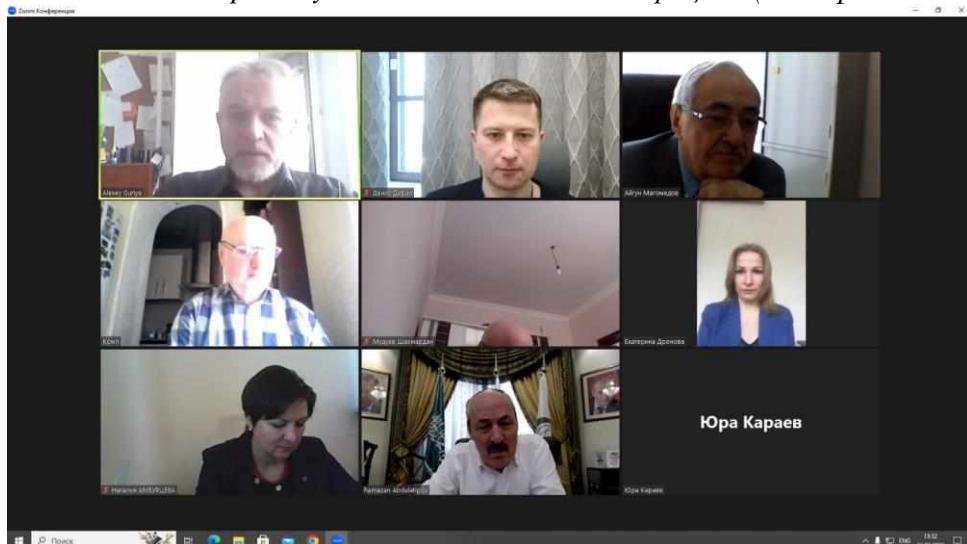
*1. Выставка научных достижений СКГМИ (ГТУ) в Парламенте РСО-Алания (20 июня 2023 года).*

Профессор кафедры горного дела д.т.н. Стадник Д.А. выступил с докладом «Инновационная деятельность на основе синтеза цифровых двойников горных предприятий».

*2. XXXI Международный научный симпозиум «Неделя горняка 2023».*

В рамках Конференции сотрудниками и обучающимися вуза были подготовлены и представлены доклады по направлению «Горные науки»: «Актуализация технологических показателей технических проектов горных предприятий с помощью ГГИС»; «Перспективы цифровизации горной промышленности в современных условиях. Индустрия 4 в горном деле»; «Оптимизация затрат для проветривания подземного рудника «Удачный»; «Технологическое моделирование рудных месторождений в ГГИС с учетом угла поворота технологической сети».

*3. Рабочее совещание Российского общественного Комитета по созыву, организации и проведению «Альянса горных субъектов Российской Федерации» (16 марта 2023 года).*



**Фото 3 - Участники совещания**

В ходе совещания обсуждались вопросы подготовки соответствующего законопроекта на основе Модельного закона МПА СНГ «О развитии и охране горных территорий» и федеральной программы по устойчивому развитию горных территорий.

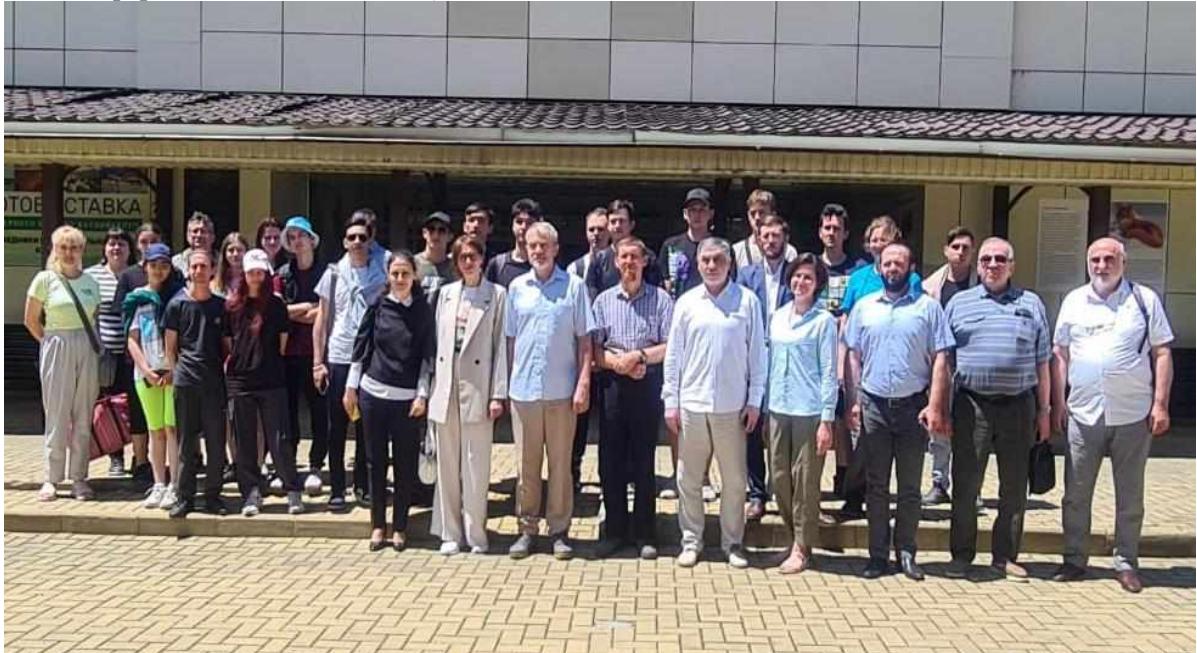
*4. XIV Всероссийская Школа-семинар молодых ученых, аспирантов, студентов и школьников «Исследования и творческие проекты для развития и освоения проблемных и прибрежно-шельфовых зон юга России» (филиал Южного федерального университета в г. Геленджике, с 26 по 28 апреля 2023 г.).*

Директором Центра «Горы» Караевым Ю.И. совместно со студентами Многопрофильного профессионального колледжа СКГМИ (ГТУ) Бокоевой А.А. и Тоторовой Ж.О. был подготовлен доклад «О перспективах нефтегазоносности верхнемелового комплекса РСО-Алания, занявший первое место в номинации.

*5. Международная научная конференция «Современные тенденции низкоуглеродного развития: глобальные и региональные аспекты». (ФГБОУ ВО «Чеченский государственный университет им. А.А. Кадырова» в г. Грозный, Чеченская Республика, в ЧГУ, с 28 июня по 01 июля 2023 г.).*

В работе конференции приняли участие директор Центра «Горы» Ю.И. Караев и сотрудники Управления научных исследований СКГМИ (ГТУ) Стратейчук Д.М. и Рубаева И.О., выступившие с докладами: «Обучение вопросам устойчивого развития в полевых условиях» и «Обучение устойчивому развитию на объектах прежней добычи полезных ископаемых».

6. III Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Ресурсы и ограничения горного развития в условиях глобальных изменений» (III Тебердинская конференция, 5-6 июля 2023 г.).



**Фото 4 - Участники III Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Ресурсы и ограничения горного развития в условиях глобальных изменений», Карачаево-Черкесская Республика, г. Теберда, Визит-центр Тебердинского национального парка**

Конференция организована в соответствии с планом мероприятий СевероКавказского научного сотрудничества (СКНС) на 2023 год СКНС в рамках очередной IX Северо-Кавказской комплексной экспедиции и III выездной сессии совместно с Центром горных исследований Института географии Российской академии наук (ИГ РАН), Северо-Кавказским Федеральным университетом (СКФУ) и др. научными, образовательными и природоохранными учреждениями.

В работе конференции приняли участие представители научных организаций и университетов России (гг. Владикавказ, Грозный, Карачаевск, Махачкала, Москва, Санкт-Петербург, Саратов, Ставрополь и др.), Узбекистана и Таиланда, а также студенты и аспиранты СКФУ (г. Ставрополь).

Приоритетными направлениями обсуждения на конференции стали вопросы ресурсных ограничений развития горных территорий в условиях глобальных изменений, стратегии развития горных территорий России и усиление кооперации в области решения комплексных проблем горных территорий, динамики верхней границы леса и др. Особое внимание было уделено проведению Евразийского горного форума в Санкт-Петербурге в ноябре 2023 г.

7. XVII Всероссийская молодежная научно-практическая конференция «Проблемы недропользования».

В рамках Конференции обучающимися вуза были подготовлены и представлены доклады по направлению «Горные науки»: «Технологическое моделирование рудных месторождений в ГГИС: проблемы и перспективы»; «Оптимизация затрат для проветривания подземного рудника».

8. IX Международная научно-практическая конференция «Инновационные перспективы Донбасса».

В рамках Конференции сотрудниками и обучающимися вуза были подготовлены и представлены доклады по направлению «Горные науки»: «Перспективы цифровой трансформации горнотехнических систем Донбасса»; «Оптимизация затрат подземного рудников».

9. 3-я международная конференция «*Future of Mining - Будущее горной промышленности*» - *CTT Mining*.

В рамках Конференции сотрудниками и обучающимися вуза были подготовлены и представлены доклады по направлению «Горные науки»: «Создание цифровых двойников горных предприятий на базе центра подготовки и аттестации инженеров горных роботизированных систем «Аватар».

10. Международная научно-практическая конференция «Молодые ученые в решении актуальных проблем науки».

В рамках Конференции сотрудниками и обучающимися вуза были подготовлены и представлены доклады по направлению «Горные науки»: «Решение задачи выбора транспортных средств горных предприятий на базе теории графов»; «Обзор современного программного обеспечение для проветривание подземных горных выработок».

11. 1-ая Международная лондонская конференция «Эксплуатационная разведка и сопоставление плановых и фактических показателей. Опыт организации эксплоразведки на рудниках западных стран».

В рамках Конференции сотрудниками и обучающимися вуза были подготовлены и представлены доклады по направлению «Горные науки»: «Проектирование горнотехнических систем в современном программном обеспечении. Сопоставление плановых и фактических показателей. Опыт организации эксплоразведки на рудниках стран СНГ».

На базе Центра «Горы» Северокавказского горно-металлургического института (государственного технологического университета) успешно функционирует штаб-квартира Северокавказского Научного Сотрудничества (СКНС, Председатель Секретариата - директор ЦРП УРГТ СКГМИ (ГТУ) Ю.И. Караев), созданного с целью активизация научного сотрудничества, сбора и формирования информации в области устойчивого развития горных регионов Северного Кавказа.

На билингвальном сайте СКНС (<https://ncscnew.jimdo.com/>) размещены библиографические ссылки на публикации участников СКНС и более 150 полезных ссылок на различные информационные ресурсы, в том числе около 100 ссылок на электронные журналы, согласно сведениям Государственной публичной научно-технической библиотеки России (ГПНТБ).

В СКГМИ(ГТУ) в 2023 году выполнялись работы по следующим проектам и программам научных исследований:

- Проект по организации на территории горной зоны Республики Северная Осетия-Алания Глобального геопарка ЮНЕСКО «Горная Осетия».
- Организация Карбонового полигона на территории Республики Северная Осетия-Алания.

В отчётом периоде были продолжены консультации и исследования по переходящим проектам и программам:

- Актуальные проблемы и тенденции развития горных и предгорных территорий на муниципальном уровне.

- Пропаганда и апробация методов и методик природопользования национальных парков в горных регионах.

- Разработка индикаторов устойчивого развития горных муниципальных образований.
  - Основные проблемы горных территорий с предприятиями-недропользователями.

В связи с возможностью выезда в горные районы Республики Северная Осетия-Алания и началом работ по теме «Научное обоснование организации и функционирования на территории Республики Северная Осетия-Алания Глобального геопарка ЮНЕСКО «Горная Осетия» директор Центра «Горы» с коллегами и студентами университета провели предварительные рекогносцировочные исследования на территории РСО-Алания. Результаты

этих исследований изложены в статьях научных журналов и докладах конференций (см. перечень публикаций).

В 2023 году сотрудники вуза принимали участие в полевых исследованиях в рамках IX Северокавказской комплексной экспедиции.

В июле 2023 года на территории Тебердинского национального парка были продолжены комплексные исследования в районах стационарных площадок и трансектов. Преобразование Тебердинского биосферного заповедника в национальный парк проходит в условиях повышения антропогенной нагрузки на природный ландшафт. Климатические и антропогенные изменения привели к сокращению нивально-гляциальных ландшафтов. В долине р. Теберды фиксируются обширные участки гибели хвойных лесов - ели и пихты.

Одним из принятых решений стала инициатива по возобновлению регулярных исследований на участках и биостанциях Тебердинского заповедника, проводившихся в 1960-1980-е годы, для нынешнего комплексного геоэкологического мониторинга природных и природно-антропогенных процессов, вызванных глобальными изменениями климата и трансформацией человеческой деятельности.

По итогам исследований, проведённых в рамках Северокавказской комплексной экспедиции на территории СКФО в 2021-2023 гг. планируется издание сборник трудов СККЭ, выпуск 3. В подготовке этого издания принимает участие директор Центра «Горы» СКГМИ (ГТУ) Караев Ю.И.

Ниже приведён перечень публикаций, которые выполнены на основе материалов проводимых исследований директором Центра «Горы» как самостоятельно, так и совместно с коллегами из других подразделений университета и учреждений-партнёров:

1. Васьков И.М., Гуня А.Н., Караев Ю.И. Ландшафты как индикаторы эндогенных энергопотоков планеты Земля. // Грозненский естественнонаучный бюллетень. - 2023. - Том 8. - № 1 (31). - С. 6-16. DOI: 10.25744/genb.2023.66.94.001

2. Бокоева А.А., Караев Ю.И., Тотрова Ж.О. О перспективах нефтегазоносности верхнемелового комплекса РСО-Алания. // XIV Всероссийская Школа-семинар молодых ученых, аспирантов, студентов и школьников «Исследования и творческие проекты для развития и освоения проблемных и прибрежно-шельфовых зон юга России». - Филиал Южного федерального университета в г. Геленджике, 26-28 апреля 2023 г.

3. Караев Ю.И., Санакоев А.В. Десятилетие Северокавказского научного сотрудничества в области охраны и развития горных территорий. // V Всероссийская (национальная) научно-практическая конференция «Современные научно-технические и социально-гуманитарные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации». - ФГБОУ ВО «Северокавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)», г. Владикавказ, 24-26 мая 2023 г.

4. Бокоева А.А., Караев Ю.И., Тотрова Ж.О. Перспективы нефтегазоносности меловых отложений РСО-Алания. // V Всероссийская (национальная) научно-практическая конференция «Современные научно-технические и социально-гуманитарные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации». - Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), г. Владикавказ, 24-26 мая 2023 г.

5. Караев Ю.И., Дербитов А.Э. Геопарки как основа современного природопользования. // V Всероссийская (национальная) научно-практическая конференция «Современные научно-технические и социально-гуманитарные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации». - Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), г. Владикавказ, 24-26 мая 2023 г.

6. Караев Ю.И., Стратейчук Д.М., Рубаева И.О. Обучение вопросам устойчивого развития в полевых условиях. // Международная научная конференция «Современные тенденции низкоуглеродного развития: глобальные и региональные аспекты». - ФГБОУ ВО «Чеченский государственный университет им. А.А. Кадырова», Чеченская Республика, г. Грозный, 28 июня – 01 июля 2023 г.

7. Караев Ю.И., Стратейчук Д.М., Рубаева И.О. Обучение устойчивому развитию на объектах прежней добычи полезных ископаемых. // Международная научная конференция

«Современные тенденции низкоуглеродного развития: глобальные и региональные аспекты». - ФГБОУ ВО «Чеченский государственный университет им. А.А. Кадырова», Чеченская Республика, г. Грозный, 28 июня – 01 июля 2023 г.

8. Караев Ю.И. К десятилетию образования СКНС. // III Тебердинская конференция «Ресурсы и ограничения горного развития в условиях глобальных изменений». - Карачаево-Черкесская Республика, г. Теберда, 4-5 июля 2023 г.

9. Караев Ю.И. Потенциал региона для развития геотуризма. // III Тебердинская конференция «Ресурсы и ограничения горного развития в условиях глобальных изменений». - Карачаево-Черкесская Республика, г. Теберда, 4-5 июля 2023 г.

10. Стадник Н.М., Жилин А.Г., Лопушняк Е.В. Методические основы имплицитного моделирования месторождений твердых полезных ископаемых при автоматизированном проектировании. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2023. - № 5-1. - С. 185-197. (Scopus Q2)

11. Стадник Н.М., Григорян К.Л., Кожиев З.В. Актуализация технологических показателей технических проектов разработки месторождений полезных ископаемых с помощью компьютерных технологий. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2023. - № 5-1. - С. 170-184. (Scopus Q2)

12. Евдокимов С.И., Клыкова К.Ю., Рубаева И.О. Технология использования чернового концентратра в качестве минералов-носителей. // Устойчивое развитие горных территорий. - 2023. - № 15-3. - С. 568-580. (ScopusQ2)

13. Стадник Д.А., Осадчук П.А. Решение задачи выбора транспортных средств горных предприятий на базе теории графов // В сборнике XIII Международной научно-практической конференции «Молодые ученые в решении актуальных проблем науки». Справка о принятии в печать, 2023 г. (РИНЦ)

14. Стадник Н.М., Седов Д.Ю. Обзор современного программного обеспечение для проветривание подземных горных выработок. // В сборнике XIII Международной научно-практической конференции «Молодые ученые в решении актуальных проблем науки». Справка о принятии в печать, 2023 г. (РИНЦ)

## **2.27. ИНСТИТУТ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ**

Исследования в области горных наук в Институте природопользования НАН Беларуси охватывают вопросы углубленного изучения строения земной коры и литосфера, геодинамики, тектоники, региональной геологии, геоэкологии и геотехнологии. В 2023 году значительное внимание было удалено вопросам термохимической переработки твердых горючих ископаемых и других горючих материалов методом пиролиза с целью получения высококалорийных твердых и жидкых продуктов, горючих газов.

Непрерывный рост мирового энергопотребления сопровождается истощением основных энергетических ресурсов, особенно нефти. Запасы же горючих сланцев огромны и составляют около  $6,5 \cdot 10^{13}$  т. Ресурсы органического углерода, аккумулированного в сланцах, превышают запасы всех других видов топлив, вместе взятых. Актуальным становится вопрос о переработке горючих сланцев в жидкое топливо и другие химические продукты. В пересчете на эквивалентную нефть (условное топливо), выделяемую в стандартной реторте, запасы сланцев составляют 630 млрд. т, что значительно превышает мировые ресурсы жидкого углеводородов – 280 млрд. т.

Следует отметить, что низкое содержание керогена в горючих сланцах месторождений Беларуси, в сравнении с эstonскими сланцами, не позволяет использовать известные технологии их термопереработки. Поэтому необходим поиск более эффективных и рентабельных способов переработки горючих сланцев Беларуси.

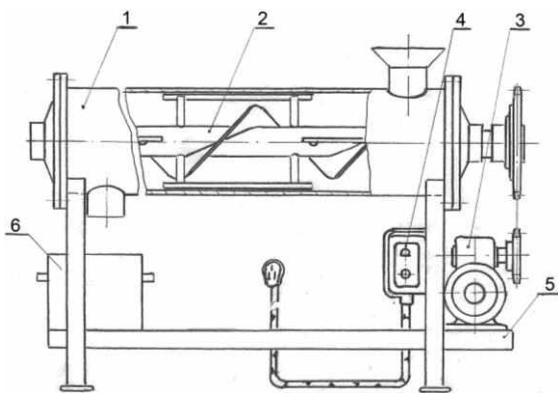
С одной стороны, сдерживающим фактором широкого использования горючих сланцев в Республике Беларусь в качестве энергоносителей сегодня является отсутствие технологий, позволяющих экономически эффективно получать востребованные энергоносители. К таким технологиям помимо их высокой эффективности и прибыльности предъявляются требования минимизации отрицательных воздействий на окружающую среду. С другой

стороны, с целью повышения энергетической безопасности, наряду с альтернативными источниками энергии, закономерно возрастает роль имеющихся в республике твердых горючих ископаемых, включая значительные ресурсы горючих сланцев. В сложившейся ситуации возрастает актуальность исследований в направлении повышения эффективности технологии переработки белорусских горючих сланцев.

**Лабораторные испытания.** Анализ литературных источников [1–3], ранее выполненных лабораторных исследований и расчетов показал необходимость поиска более эффективных решений по конструкции установки для термохимической переработки горючих сланцев. При термохимической переработке твердых горючих ископаемых в подвижном слое важно, чтобы скорость подачи материала соответствовала интенсивности его теплообмена. Это трудно реализовать с помощью стандартных шнеков, в которых при увеличении оборотов вместе с интенсивностью теплообмена увеличивается и скорость подачи материала. Поэтому в устройствах по термохимической переработке, созданных на базе стандартных шнеков, трудно обеспечить необходимую температуру и производительность термохимической переработки. Это можно сделать на базе специальных шнеков-смесителей. При этом шнеки-смесители должны в первую очередь интенсивно перемешивать материал, обеспечивать хорошую парогазовую проницаемость в зоне термохимической переработки и подавать материал со скоростью, позволяющей прогревать его до необходимой температуры.

Для определения параметров конструкции шнека-смесителя установки по термической переработке горючих сланцев в подвижном слое использован лабораторный стенд, разработанный в лаборатории физико-химической механики природных дисперсных систем Института природопользования НАН Беларусь [4], конструкция которого представлена на рисунке 1.

Стенд состоит из цилиндрического кожуха 1 с загрузочным и разгрузочным окнами. Внутри кожуха на опорах скольжения могут устанавливаться различные рабочие органы 2, осуществляющие необходимую интенсивность перемешивания термически разлагаемого топлива и подачу твердого остатка к разгрузочному окну с требуемой скоростью. Привод рабочего органа осуществляется с помощью червячного мотор-редуктора 3 и цепной передачи, что позволяет с применением частотного модулятора осуществлять вращение вала со скоростью от нескольких до десятков оборотов в минуту. Питание привода осуществляется с помощью переносного кабеля пультом 4. Напряжение питания электродвигателя – 380 В. Вся установка смонтирована на станине 5. Для сборки материала, имитирующего топливо, на металлоконструкции установлен мерный сборник 6.



**Рисунок 1 – Лабораторный стенд  
для отработки способов интенсификации  
тепло- и массообмена при термохимической  
переработке твердых горючих ископаемых  
в подвижном слое (обозначения приведены  
выше)**

На начальном этапе были испытаны три вида шнеков-смесителей, которые отличались конструктивно, имея одно и то же функциональное назначение. Проведенные лабораторные испытания показали [4], что, используя такие шнеки-смесители можно в 2–3 раза увеличить производительность оборудования по термохимической переработке твердых горючих ископаемых по сравнению со стандартными шнеками. В дальнейшем был разработан и испытан четвертый вариант шнека-смесителя ленточного типа с двухходовой спиралью (рисунок 2).



Рисунок 2 – Шнек-смеситель для сыпучих материалов в виде двойной спирали

Анализ выполненных испытаний показал, что для термической переработки горючих сланцев на установке проточного типа последний вариант шнека-смесителя выглядит предпочтительнее. При этом желоб шнека должен быть открыт для обеспечения интенсивного удаления продуктов термодеструкции сланца. Кроме того, открытый желоб позволяет осуществлять дополнительный разогрев перерабатываемого материала с помощью лучистого излучателя. С учетом указанного требования были испытаны варианты шнека-смесителя ленточного типа с двухходовой спиралью при различном соотношении шага спирали и диаметра открытого желоба.

Проведенные испытания показали, что для обеспечения оптимальных параметров прогрева горючего сланца за время прохождения материала через шнек-смеситель необходимо, чтобы шаг шнека удовлетворял отношению к диаметру желоба шнека в пределах 1,7–2,0. Полученное соотношение было учтено при разработке опытной установки по термической переработке горючих сланцев.

Лабораторные испытания шнеков-смесителей в открытом желобе позволили обосновать выбор элементов конструкции опытной установки для термической переработки горючих сланцев с разделением выходов сланцевой смолы, летучих компонентов и полукокса.

**Опытная установка.** На рисунках 3 и 4 показаны поперечный разрез в центральной части и продольный разрез установки для термической переработки горючих материалов методом пиролиза. Основной элемент установки – шнек-смеситель 1 с желобом открытого типа 2, являющимся одновременно стенками камеры высокотемпературного разогрева горячими газами 3. Вся конструкция шнека-смесителя с обогреваемым желобом помещена в герметичную цилиндрическую камеру 4, которая в нижней части охлаждается проточной водой и является камерой конденсации с желобом 5 продуктов термической переработки. Внешние стенки обогреваемого желоба изолированы термостойкой теплоизоляцией 6.

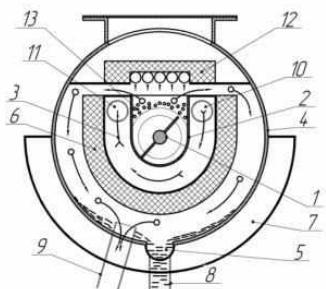


Рисунок 3 – Поперечный разрез в центральной части опытной установки по термической переработке горючих сланцев (обозначения приведены выше)

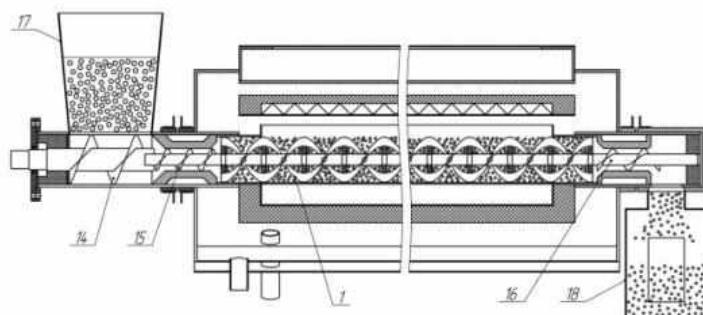
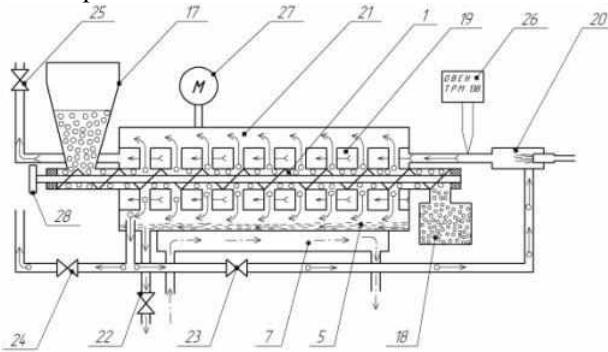


Рисунок 4 – Продольный разрез опытной установки по термической переработке горючих сланцев (обозначения приведены выше)

Для разогрева рабочей зоны установки в торцевые стенки камеры высокотемпературного разогрева 3 введены патрубки из жаростойкой стали 10 и 11. Со стороны выгрузного бункера 18 патрубок соединен с камерой сжигания, в которую вставлена газовая горелка мощностью 10 кВт. Со стороны загрузочного бункера 17 патрубок сообщается с дымовой трубой, на которой установлен дымосос. Вывод газообразных продуктов деструкции сланца осуществляется через Т-образный патрубок 9, герметично вмонтированный в нижнюю часть камеры конденсации со стороны загрузочного бункера. Свободный отвод патрубка 10 через вентиль сообщается с камерой горения, а свободный отвод патрубка 11 через такой же вентиль соединен с дымовой трубой.

Нижняя половина камеры конденсации снабжена водяной рубашкой 7 и может охлаждаться проточной водой. Вдоль нижней части камеры конденсации вварен желоб 5 для сбора сланцевой смолы и воды, сконденсированных на ее внутренних стенках 4. Продукты конденсации могут отводиться из желоба 5 с помощью патрубка 8, который заканчивается вентилем 22 (рисунок 5), расположенным вблизи торцевой части камеры конденсации со стороны загрузочного бункера. Для дополнительного разогрева перерабатываемого материала над открытой частью желоба может располагаться лучистый нагреватель в виде спирали из никромовой проволоки, уложенной в кварцевые трубы 12. Использование дополнительного лучистого обогрева позволяет в 2 раза повысить производительность установки по термической переработке горючих сланцев.



**Рисунок 5 – Схема опытной установки для термической переработки горючих сланцев (обозначения приведены выше)**

Шнековый транспортер установки состоит из четырех частей, отличающихся диаметром и шагом. В загрузочной части 14 диаметр вала шнека составляет 50 мм, диаметр винта шнека – 110 мм и имеет шаг 100 мм. Далее идет дозировочно-уплотняющая часть шнека 15 с диаметром вала 25 мм, диаметром винта 50 мм и шагом 50 мм. В этой части расположена специальная вставка, которая уменьшает диаметр желоба до 50 мм. Конструкция дозировочно-уплотняющей части позволяет жестко привязать интенсивность загрузки перерабатываемого материала к скорости вращения вала шнека и исключает возможность прорыва газов из рабочей камеры установки. За дозировочно-уплотняющей частью располагается рабочая область камеры со шнеком-смесителем 1 в виде двухходовой спирали диаметром 102 мм и шагом 180 мм. Желоб этой части открыт и заключен в камеру высокотемпературного разогрева. Рабочая область шнека заканчивается выгрузочно-уплотняющей частью 16, аналогичной дозировочно-уплотняющей. В торцевых частях камеры конденсации расположены загрузочный 17 и выгрузной 18 бункера.

Термическая переработка горючих сланцев на разработанной установке осуществляется по схеме, в которой можно выделить пять отдельных контуров, взаимодействующих друг с другом посредством тепло- и массообмена. Взаимодействие контуров проиллюстрировано принципиальной технологической схемой, представленной на рис. 5. Основным является контур, обеспечивающий подачу, перемещение и выгрузку переработанного материала. Для этого используется шнековый транспортер, основным элементом которого является шнек-смеситель 1 с желобом открытого типа в рабочем пространстве. В этот контур входят загрузочный 17 и выгрузной 18 бункера. Нагрев переработанного материала осуществляется путем абляционного теплообмена шнекового транспортера с контуром обогрева 19, по которому во встречном направлении пропускается нагретый дымовой газ

от сжигания топливного газа 20 и летучих компонентов термодеструкции переработанного сланца 21. Конденсация летучих компонентов, выделившихся из нагретого до необходимой температуры сланца, осуществляется в контуре конденсации на стенках цилиндрической поверхности, охлаждаемой технической водой до температуры 50–90 °С в контуре охлаждения 7. Продукты конденсации накапливаются в желобе 5, расположенному в нижней части цилиндрической камеры конденсации и периодически удаляются через вентиль 22.

Управление режимом разогрева осуществляется с помощью вентилей 23, 24 и вентиля 25 на выходе дымовых газов горелки 20. Контроль температурного режима осуществляется с помощью восьми алюмель-хромелевых термопар, расположенных в различных частях установки, и восьмиканального регистратора температуры ОВЕН ТРМ138 26. Давление газов в камере конденсации контролируется с помощью мановакуумметра 27. Привод 28 шнекового транспортера реализован с помощью мотора-редуктора типа STM UM-1, управляемого частотным регулятором. Оптимизация режима сжигания газообразных продуктов пиролиза и удаления дымовых газов может осуществляться дымососом, также управляемым с помощью частотного регулятора.

Для оптимизации степени заполнения шнекового пиролизера и расхода перерабатываемого материала, а также сбора продуктов конденсации шнековый пиролизер может устанавливаться с наклоном к горизонтальной поверхности. Причем оптимальный тангенс угла наклона оси шнекового пиролизера в направлении подъема в сторону выгрузочного бункера может изменяться в пределах от 0,03 до 0,15. Такой наклон способствует более полному заполнению шнекового транспортера перерабатываемым материалом и интенсификации стока в сторону выгрузки продуктов конденсации.

**Процесс термической переработки горючих сланцев.** На опытной установке отработан процесс термической переработки горючих сланцев, который осуществляется следующим образом. Измельченный до фракций не более 5 мм сланец засыпается в загрузочный бункер. В камеру высокотемпературного разогрева подаются горячие дымовые газы от газовой горелки. С помощью горячих газов температура на выгрузочном конце камеры высокотемпературного разогрева доводится до 200–250 °С.

После этого включается подача перерабатываемого сланца в рабочую камеру с помощью шнека при скорости его вращения 8 об/мин. При подключении дополнительного радиационного нагревателя мощностью до 10 кВт необходимо скорость вращения вала шнека повысить до 15 об/мин. Это обеспечивает увеличение производительности установки по термической переработке горючих сланцев до 2 раз. В начальный период ведется непрерывный контроль температурного режима с помощью многоканального регистратора температуры типа «Овен» и давления в цилиндрической камере с помощью манометра. По истечении 10–15 мин. после начала подачи сланца в рабочую камеру установка должна выйти на рабочий режим. При этом температура камеры разогрева должна изменяться от 200 °С на загрузочном конце до 600 °С на выгрузочном конце. Давление газов в цилиндрической камере должно составлять 0,05–0,1 атм. После выхода установки на рабочий режим можно провести переключение выхода летучих компонентов термодеструкции сланца в камеру сжигания, частично заменив расход топливного газа. Для этого открывается вентиль на патрубке, сообщающем камеру конденсации с камерой сжигания и частично перекрывается вентиль на выходе газов термодеструкции в дымовую трубу. При осуществлении данной операции ведется наблюдение за изменением температурного режима в камере высокотемпературного разогрева. Оптимальные положения вентилей, регулирующих расход газов, не должны нарушать установленный режим установки.

Через 30 мин. после начала подачи сланца в рабочую камеру производится периодическое открывание вентиля на патрубке выхода продуктов конденсации (пиролизной воды и сланцевой смолы).

В установленном режиме процесс термической переработки сланца продолжается до опорожнения загрузочного бака. При этом остатки сланца должны находиться в начальной части шнека для предотвращения прорыва газов из рабочей камеры.

Для остановки процесса термической переработки сланца необходимо перекрыть вентиль выхода летучих компонентов в камеру сжигания и открыть полностью вентиль выхода летучих компонентов в дымовую трубу. Газовую горелку полностью выключить. Вращение шнека остановить. Продолжать охлаждать камеру разогрева методом периодической смены

воды в охлаждающей рубашке. После охлаждения камеры разогрева до температуры ниже 100°C и температуры в бункере выгрузки ниже 150°C включить шнековый транспортер и полностью выгрузить остатки сланца в выгружной бункер.

Количество летучих компонентов переработанного сланца оценивается методом взвешивания по разности количества загруженного сланца и суммарного количества выхода продуктов конденсации и полуоксида сланца.

**Заключение.** Предварительные испытания и расчеты показали, что разработанная опытная установка позволяет реализовать принципиально новую технологическую схему термической переработки горючих сланцев без дополнительного теплоносителя с разделением в процессе переработки жидких, газообразных и твердых компонентов. Разработанной установке не требуются традиционные циклон и конденсатор. Важным преимуществом установки является повторное использование (сжигание) летучих компонентов пиролиза в цикле разогрева перерабатываемого материала, что существенно снижает воздействие на окружающую среду выбросов продуктов термической переработки.

Техническую новизну данной разработки предполагается защитить патентом на изобретение. В настоящее время Национальным центром интеллектуальной собственности Республики Беларусь принято решение о выдаче патента на изобретение по установке для пиролизной переработки твердых горючих материалов.

Представленная установка может быть использована для термической переработки методом пиролиза твердых, пастообразных и полужидких материалов, таких как нефтешламы, загрязненные отходы полимеров, отработанные смазочные и смазочно-охлаждаемые материалы.

#### **Список использованной литературы**

1. Установка для пиролиза древесины: пат. RU 2346023 С1 / А.Н. Грачев. – Опубл. 10.02.2009.
2. Экспериментальная установка по термохимической переработке бурых углей и результаты ее испытаний / П.Л. Фалюшин [и др.] // Природопользование. – 2009. – Вып. 15. – С. 211–216.
3. Деструктивная перегонка твердого сырья специальных видов или особой формы и размеров: пат. BY 16915 С1 / И.И. Лиштван. – Опубл. 28.02.2013.
4. Способы интенсификации тепло- и массообмена при термохимической переработке твердых горючих ископаемых / Г.П. Бровка [и др.] // Природопользование. – 2015. – Вып. 28. – С. 84–89.

### **2.28. ФИЛИАЛ РГП «НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР ПО КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН» «ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА ИМ. Д.А.КУНАЕВА»**

#### **Сведения о выполнении НИР по бюджетным программам**

В 2023 году в Институте горного дела им. Д. А. Кунаева (далее – Институт) выполнялись фундаментальные и прикладные исследования по следующим программам и проектам Министерства образования и науки РК (на тендерной основе) по программе 217 «Развитие науки»:

➤ подпрограмма 102 «Грантовое финансирование по научным и (или) научно-техническим проектам на 2022-2024 годы»:

по приоритету: **Геология, добыча и переработка минерального и углеводородного сырья, новые материалы, технологии, безопасные изделия и конструкции**

1. «Технология получения препарата-адаптогена на основе гуматов из угля и экстрактов дикорастущих растений для создания устойчивого растительного покрова на техногенных объектах». Этап 2023 г.: Разработка технологии получения препарата-адаптогена и лабораторные исследования по приживаемости дикорастущих растений, обработанных полученным препаратом. Разработка технологии гуминовых кислот из некондиционных бурых углей для получения препарата-адаптогена. Разработка технологии получения препарата-адаптогена на основе гуматов из угля и экстрактов дикорастущих растений. Лабораторные исследования

приживаемости семян дикорастущих растений, обработанных препаратом-адаптогеном (Руководитель: д.т.н., проф. Жалгасулы Н.).

#### *Основные результаты:*

Лабораторные эксперименты, проведенные для определения приживаемости семян на пробах хвостов обогащения показали, что на фитотроне бурный рост предлагаемых сортов растений (полынь, брунец, ковыль) считаем удовлетворительными. Исследователи убеждены, что новый концентрат-адаптоген повышает устойчивость растений, противостоит экстремальным изменениям среды, засухе, пониженным температурам почвы и является лимитирующим фактором продуктивности агроценозов.

Изучение эффективности нового физиологически активного гуминового препарата-адаптогена, обогащенного микро- и макроэлементами и экстрактами дикорастущих растений, например полыни белой, проводили путем постановки двух лабораторных опытов, методом биотестирования. Испытание проводили в миниклиматроне, изготовленном силами сотрудников ИГД им. Д.А. Кунаева. Миниклиматрон, в соответствии и требованиями ГОСТа (ГОСТ 10250-80, ГОСТ 12038-84) оснащен светонагревательными приборами, таймером и терморегулятором. Обработка результатов осуществлялась методом Ф.А. Юдина.

➤ подпрограмма 102 «Грантовое финансирование по научным и (или) научно-техническим проектам на 2023-2025 годы»:

по приоритету: **Геология, добыча и переработка минерального и углеводородного сырья, новые материалы, технологии, безопасные изделия и конструкции**

1. «Разработка теоретических основ и технологии освоения остаточных запасов углеводородов (нефти) не глубоких месторождений в гравитационном режиме», Этап 2023 г.: Анализ причин низкого коэффициента извлечения нефти в современных условиях. Создать ряд технологических схем совместного воздействия давлением, различного действия, горными работами и силами гравитации на коллектор. Разработать физическую модель коллектора с высоковязкой нефтью. Изготовить физическую модель коллектора с высоковязкой нефтью. (Руководитель: академик НАН РК Буктуков Н.С.).

#### *Основные результаты:*

Установлены причины низкого извлечения и намечены пути повышения коэффициента извлечения нефти. Разработаны технологические схемы совместного воздействия давлением, различного действия, горными работами и силами гравитации на коллектор, проведена подготовка к созданию изобретения или полезной модели. Разработаны чертежи физической модели. Изготовлена физическая модель пласта в двух вариантах в соответствии с технологическими схемами воздействия на пласт.

### **Практическая деятельность**

На основе 8 хоздоговорных работ Институт в 2023 году выполнял работы на сумму 204 124,51 тыс. тенге для 6 предприятий Казахстана:

#### **ТОО «Парк Инновационных Технологий», АО «AltynEx Company»**

В рамках проекта проведена установка Системы позиционирования и поиска людей и транспорта на месторождении «Юбилейное», АО «AltynEx».

#### **ТОО «Восход-Oriel»**

В рамках проекта проведены услуги по технической поддержке и сервисному обслуживанию (устранение неисправностей, техническое обслуживание и ремонт, плановые проверки, профилактика преждевременного износа, диагностика, тестирование, анализ, расширение функционала) системы Oriel-RTLS Mine.

Разработан технический проект системы управление подземными взрывными работами рудника «Восход» с земной поверхности

#### **АО «АК Алтыналмас»**

Разработан технологический регламент по засыпке недействующего карьера Маныбай. Определена устойчивость бортов карьера для выбора стороны засыпки и разработан проект засыпки.

### ТОО «НИИЦ ERG», АО «Шубарколь»

Разработаны два варианта схем вскрытия и системы разработки Блока №2, с погоризонтным указанием высоты уступов, ширины рабочих площадок, берм безопасности, углов откосов уступов (гор. 488,0 м – 380,0 м), позволяющие максимально возможное исключение проявлений геомеханических катастроф.

Разработаны и построены устойчивые контуры откосов уступов в районе выходов угольных пластов с указаниями высот уступов, углов откосов уступов и бортов откосов уступов, обеспечивающих безопасность ведения горных работ по разведочным линиям.

Разработаны дополнительные объемы работ, связанных с сокращением затрат на проведение БВР и улучшением показателей качества БВР, не входящие в объемы работ по условиям договора.

### ТОО «Восточное Рудоуправление»

Разработаны и согласованы план горных работ и план ликвидации.

### НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева»

Результатом является геомеханическое моделирование устойчивости технологической конструкции наклонного рудного съезда с использованием программного комплекса RocScience Phase2, учитывающие упругопластическую модель Хука-Брауна приконтурного массива горной выработки, а также геологические особенности породного массива, его структуру и трещиноватость через показатель качества породы RQD, рейтинг RMR или Q-индекс в системах Бенявского и Бартона.

Проведен анализ формы поперечного сечения транспортного уклона, пройденного в рудном теле на НДС приконтурного массива, геомеханическое моделирование напряженного состояния приконтурного массива горных пород и установление смещения горных пород.

Полученные результаты способствуют геомеханическому обоснованию с оценкой устойчивости приконтурного массива при проведении наклонного рудного съезда.

### **Издательская деятельность**

За 2023 год опубликовано 35 публикаций, в том числе:

- 16 научных статей, из них:
  - с ненулевым импакт-фактором JCR of CA, Scopus – 5;
  - с ненулевым импакт-фактором РИНЦ, др. между. базы – 4;
  - в изданиях, рекомендованных ККСОН – 4;
  - в научных изданиях – 3.
- 17 научных докладов международного уровня.
- 1 тезис на мероприятии международного уровня.

### **Образовательная деятельность**

В 2023 году работа по подготовке кадров осуществлялась в рамках реализации ранее подписанных договоров Филиала РГП «НЦ КПМС РК» «Институт горного дела им. Д.А. Кунаева» с другими организациями:

1. Договор о сотрудничестве в сфере высшего образования и науки с Карагандинским государственным техническим университетом.

2. Договор на проведение научно-исследовательской практики магистрантов специальности «БМ090300 – Землеустройство» Казахского Национального Университета имени аль-Фараби.

3. Договор на проведение производственной и преддипломной практики студентов, магистрантов и докторантов Казахского национального технического университета имени К.И. Сатпаева.

4. Генеральный договор о сотрудничестве в сфере высшего образования и науки с РГП «Казахским национальным университетом имени аль-Фараби».

5. Договор на проведение исследовательской практики магистрантов «Казахского национального университета имени аль-Фараби» с РГП «Казахским национальным университетом имени аль-Фараби».

6. Договор по организации и проведению профессиональной (производственной/преддипломной/ исследовательской) практики АО «Новый экономический университет им. Т.Рыскулова».

7. Договор о совместной работе по развитию научных исследований, внедрению результатов научно-исследовательских работ, экспертизе научных проектов и программ, подготовке научных кадров Республиканского общественного объединения «Национальная академия наук Республики Казахстан».

1 сотрудник Института являлся членом Диссертационного совета КазНИТУ имени К.И.Сатпаева по специальностям 6D070700 - «Горное дело», 6D071100 - «Геодезия».

В PhD-докторантуре обучались 2 сотрудника по специальности «Вычислительная техника и программное обеспечение».

В 2023 г. в Satbayev University сотрудник Института Утешев Е.Т. защитил диссертацию PhD по специальности «Горное дело» на тему: «Научно-методическое обеспечение технико-технологического анализа эффективности управления горным производством».

## **2.29. КАРАГАНДИНСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АБЫЛКАСА САГИНОВА**

### **Геомеханическое обеспечение устойчивости откосов уступов и бортов карьеров**

*(Научные руководители: ст. науч. сотрудник ИЛИП «КОРМС»,  
д.т.н. Ожигин С.Г.; проф., д.т.н. Низаметдинов Ф.К.)*

Основание для выполнения: хоздоговор № PD/SSG/22-3621 от 22.11.2022 г.  
с АО «Соколовско-Сарбайское горно-обогатительное производственное объединение»

*«Мониторинг состояния устойчивости прибортовых массивов  
Сарбайского карьера и отвалов на основе инструментальных наблюдений»;  
«Мониторинг состояния устойчивости прибортовых массивов  
Соколовского карьера и отвалов на основе инструментальных наблюдений»;  
«Мониторинг состояния устойчивости прибортовых массивов  
Куржункульского карьера и отвалов на основе инструментальных наблюдений»*

**Основные результаты:** выполнен анализ горно-геологической ситуации и разработан проект наблюдательных станций за состоянием устойчивости прибортовых массивов карьеров и отвалов на основе геомеханических исследований, изучения горно-геологической и проектной документации, а также обследования карьерных откосов; исследовано состояние устойчивости прибортовых массивов карьеров и отвалов на основе трех серий высокоточных инструментальных маркшейдерско-геодезических наблюдений по заложенным реперам профильных линий; выполнен анализ результатов наблюдений и подготовлено заключение о состоянии устойчивости прибортовых и отвальных массивов карьеров; разработаны мероприятия по стабилизации деформаций и обеспечению устойчивости карьерных откосов.



**Рисунок 1 – Местоположение  
объектов научно-  
исследовательских работ**

**«Мониторинг состояния устойчивости прибортовых массивов  
Качарского карьера и отвалов на основе инструментальных наблюдений»**

(Научный руководитель: проф., д.т.н. Низаметдинов Ф.К.)

Основание для выполнения: хоздоговор № PD/KCR/23-0025 (23.11.01)  
от 13.01.2023 г. с АО «Качары руда»

**Основные результаты:** выполнен анализ горно-геологической ситуации и разработан проект наблюдательных станций за состоянием устойчивости прибортовых массивов карьеров и отвалов; исследовано состояние устойчивости прибортовых массивов карьеров и отвалов на основе трех серий высокоточных инструментальных маркшейдерско-геодезических наблюдений по заложенным реперам профильных линий; выполнен анализ результатов наблюдений и подготовлено заключение о состоянии устойчивости прибортовых и отвальных массивов Качарского карьера АО «Качары руда»; разработаны мероприятия по стабилизации деформаций и обеспечению устойчивости карьерных откосов.

**«Исследование состояния устойчивости откосов уступов, бортов  
и внутренних отвалов Шубаркольского угольного разреза»**

(Научный руководитель: и.о. доцента, к.т.н. Ожигина С.Б.)

Основание для выполнения: хоздоговор № PD/SHK/23-0686 (23.11.02)  
от 02.05.2023 г. с АО «Шубарколь комир»

**Основные результаты:** выполнен анализ горно-геологической ситуации и рекогносцировка местности; произведена реконструкция и закладка реперов наблюдательных станций на бортах разреза и внутренних отвалах; исследовано состояние устойчивости откосов уступов, бортов и внутренних отвалов Шубаркольского угольного разреза на основе трех серий высокоточных инструментальных наблюдений по заложенным реперам профильных линий; выполнен анализ результатов наблюдений за сдвижением карьерных откосов.

**«Исследование состояния устойчивости откосов уступов и бортов карьера Кентобе  
и отвалов с использованием современных инструментальных наблюдений»**

(Научный руководитель: проф., д.т.н. Низаметдинов Ф.К.)

Основание для выполнения: хоздоговор № 4100056427 (23.11.03)  
от 19.05.2023 г. с ТОО «ОРКЕН»

**Основные результаты:** заложены и установлены новые станции наблюдений и использованы заложенные ранее (с восстановлением профильных линий реперов и пилонов при их несохранении) по карьеру; заложены и установлены новые станции наблюдений на породных отвалах; произведены инструментальные маркшейдерско-геодезические наблюдения за устойчивостью состояния бортов карьера по существующим и новым наблюдательным станциям с использованием геосканера; выполнен геомониторинг состояния бортов карьера и уступов отвалов; заложены и установлены новые станции наблюдения на породных отвалах; выполнен инструментальный маркшейдерско-геодезический контроль устойчивости состояния бортов карьерных откосов по существующим и создания новых наблюдательных станций с использованием горного сканера; подготовлено заключение о состоянии устойчивости прибортовых и отвальных массивов карьера Кентобе; разработаны рекомендации по предотвращению возможных оползневых явлений.

**«Исследование состояния устойчивости откосов уступов, бортов  
и отвалов Западного и Дальнезападного карьеров АО «Жайремский ГОК»**

(Научный руководитель: и.о. доцента, PhD Ожигин Д.С.)

Основание для выполнения: хоздоговор №3110/2023-3170 (23.11.05)  
от 05.12.2023 г. с АО «Жайремский ГОК»

**Основные результаты:** обследованы откосы уступов, бортов карьеров и отвалов на основе применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА); проведена реконструкция и созданы наблюдательные станции для исследования состояния устойчивости прибортовых массивов карьеров (Западный и Дальнезападный) и отвалов; произведены две серии высокоточных инструментальных наблюдений по заложенным реперам наблюдательных

станций; выполнен анализ результатов инструментальных наблюдений за сдвижением карьерных откосов; создана цифровая модель Западного и Дальнезападного карьеров и отвалов на основе выполнения цифровой аэрофотосъемки с применением беспилотного летательного аппарата Mavic 2 ProPPK.

**«Радиоэкологические аспекты радиоактивности энергетических углей изолированых отходов в контексте их влияния на окружающую среду»**

(Научный руководитель: проф., д.т.н. Пак Ю.Н.)

Основание для выполнения: грантовое финансирование по научным и(или) научно-техническим проектам на 2023-2025 гг.  
№ AP19678770 от 03.08.2023 г.

**Цель проекта**

Целью проекта является оценка влияния использования в топливной энергетике углей, содержащих естественные радиоактивные элементы на радиоэкологическую ситуацию окружающей среды.

**Ожидаемые и достигнутые результаты**

Изучены особенности распределения природных радионуклидов урана, тория и калия в энергетических углях, их удельной активности и форм их нахождения в зависимости от марки угля и его качества (зольности).

Определено достаточное количество отобранных представительных проб и образцов, данные о удельной активности каждого радионуклида, полученные на основании их анализа современными ядерно-радиометрическими, радиохимическими и рентгеновскими методами.

Определена модель поведения природных радионуклидов при сжигании угля на теплоэлектростанциях и методологические основы для оценки влияния использования в топливной энергетике углей, содержащих естественные радиоактивные элементы, на радиоэкологическую обстановку природной среды.

**«Создание метода прогнозирования сдвижения вмещающих пород до земной поверхности для модернизации технологии повторной разработки пологих рудных залежей»**

(Научный руководитель: к.т.н. Таханов Д.К.)

Основание для выполнения: грантовое финансирование по научным и(или) научно-техническим проектам на 2023-2025 гг.  
№ AP19677938 от 03.08.2023 г.

**Цель проекта**

Целью проекта является совершенствование технологии повторной разработки пологих рудных залежей на основе надежного прогноза сдвижения горных пород и земной поверхности путем исследования закономерностей и выявления факторов, определяющих пределы зоны деформации, ограниченной поверхностями скольжения.



**Рисунок 2 - Проведение инструментальных маркшейдерско-геодезических наблюдений за сдвижениями и деформациями земной поверхности на горных предприятиях**

**Ожидаемые и достигнутые результаты**

Согласно календарному плану проведены исследования по вопросам обеспечения полноты и качества повторной разработки пологих рудных залежей с учетом геомеханического состояния налегающей толщи горных пород и земной поверхности. Также в настоящее время

проводится комплекс (теоретических и натурных) исследований, включающие в себя оценки параметров сдвижения земной поверхности и дефектности выработанных пространств.

По фактическим результатам сдвижения налегающей толщи над ранее отработанной повторной отработкой панелью 2, определили параметры углов сдвижения налегающей толщи для условий рудника Жомарт ( $\nu=107^\circ$ ;  $\beta=73^\circ$ ;  $\gamma=73^\circ$ ,  $\delta=73^\circ$ ;  $\gamma'=90^\circ$ ;  $\beta'=90^\circ$ ,  $\delta'=90^\circ$ ).

**«Совершенствование геолого-экономической оценки горно-металлургических предприятий в контексте их соответствия международным трендам и цифрового реформирования»**

(Научный руководитель: зав. кафедрой, PhD Исатаева Ф.М.)

Основание для выполнения: грантовое финансирование на 30 месяцев  
№ AP14872003 от 18.10.2022 г.

**Цель проекта**

На основе сформированной фактографической базы данных по геолого-экономическим показателям и характеристикам месторождений ТОО «Корпорация «Казахмыс», разработать информационно-аналитическую систему геолого-экономической оценки предприятия за счет цифровизации ключевых бизнес-процессов, позволяющую моделировать производственные ситуации, повысить эффективность и прозрачность управления.



**Рисунок 3 - Научный руководитель  
Исатаева Ф.М. проводит анализ  
геолого-экономической оценки за  
отчетный период (2023 год)**

**Ожидаемые и достигнутые результаты**

Обоснованы основные предпосылки создания информационно-аналитической системы. Разработана система показателей для геолого-экономической оценки предприятия в соответствии с системой KAZRC, международным сводом стандартов GRI. Оценка международной конкурентоспособности ТОО «Корпорация Казахмыс» по методу расчета cashcost.

Создание информационно-аналитической системы обосновано необходимостью геолого-экономической оценки предприятия, для чего разработана система показателей, соответствующая стандартам KAZRC и международному своду стандартов GRI, с целью обеспечения эффективности, устойчивости и прозрачности его деятельности.

**«Исследование нефтегазоносности домезозойского комплекса Арыскумского прогиба Южно-Торгайского бассейна»**

(Научный руководитель: PhD Мадишиева Р.К.)

Основание для выполнения: грантовое финансирование «Жас ғалым-1»  
на 2022-2024 гг. № AP13268843 от 21.06.2022 г.

**Цель проекта**

Генетическая типизация углеводородов, определение флюидосообщаемости структур и определение направления миграции по результатам биомаркерного анализа и фингерпринтинга нефти месторождений Арыскумского прогиба Южно-Торгайского нефтегазоносного бассейна.

## **Ожидаемые и достигнутые результаты**

Результаты анализа новых данных по геохимии углеводородов Южно-Торгайского бассейна позволили сделать следующие выводы:

По результатам пиролитического анализа керна, позволяющего оценить генеративный потенциал нефтедобывающей породы, установлено, что изученные образцы по содержанию  $C_{\text{опр}}$  (от 0,47 до 1,41), а также по параметру S2 (от 1,1 до 9 мг УВ/г породы) имеют потенциал от плохого к хорошему.

Определение типа керогена по графику зависимости  $C_{\text{опр}}$  от углеводородного потенциала показало, что подавляющее большинство исследованных образцов относится к типу керогена II и III, и только образец с глубины 1897,36 м, с максимальным ТОС и S<sub>2</sub> находится в пределах керогена I типа. Характеристики керогена и исходного органического вещества по пиролитическим параметрам НІ,  $T_{\text{max}}$  относятся к керогену II-III типа, предположительно с нефтегазообразованием и керогену I типа с вероятной нефтегенерацией.

Водородный (НІ) и кислородный индексы (ОІ) исследованных образцов, позволяющие определять фациально-генетические типы органического вещества, указывают на преимущественно гумусовое и реже гумусово-сапропелевое происхождение, что позволяет сделать вывод о органическое вещество исследованных проб накапливалось в умеренно восстановительных условиях (кероген III и II типов) и прибрежно-морской среде (кероген I типа).

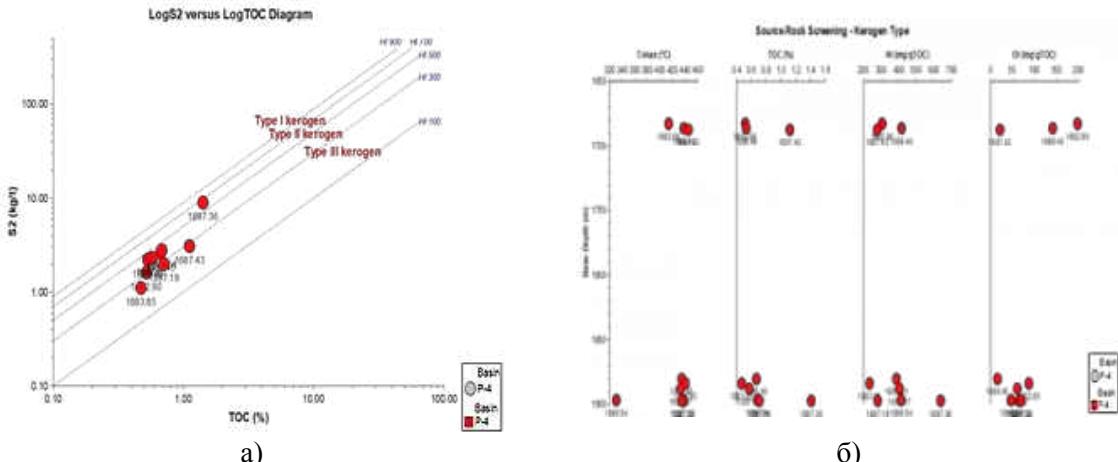
Органическое вещество исследованных проб по показателю  $T_{max}$  относится к термически зрелым, однако степень зрелости органического вещества керна с глубины 1682,9 м (дауловая свита) и 1896,54 м (кумкольская свита) ниже, оценивается как низкий.

По значениям Pr/Ph первичная нефтепродукция органического вещества Акшабулакского грабена формировалась в субокислительных условиях, а Аксайского горста и Бозингенского грабена – в окислительной среде.

В исходном органическом веществе нефти аксайского горста отмечено повышенное содержание гаммацерана, свидетельствующее о более высокой минерализации бассейна. Установлено образование исходного нефтеобразующего вещества нефти из меловых отложений, отложившихся, по-видимому, в морских, возможно, мелководных условиях.

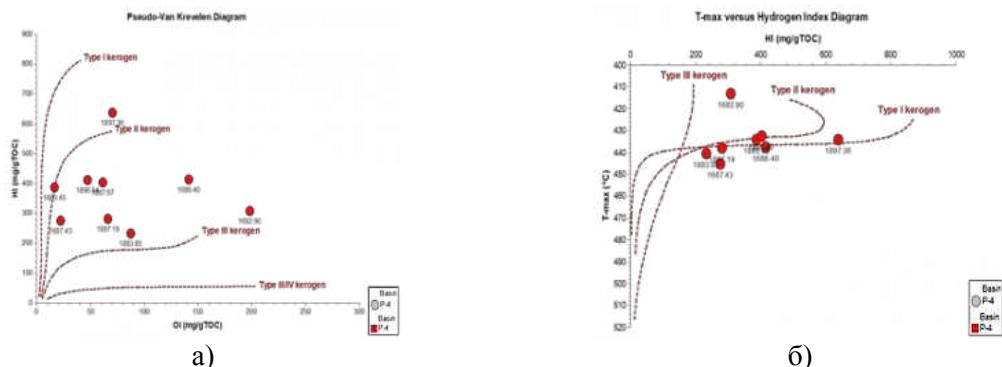
Изотопный состав углерода ( $\delta^{13}\text{C}$ ) нефти позволил выявить генетическую связь исследованных образцов нефти Арыскумской котловины с органическим веществом сапропелевого типа (кероген типа I и II), а также их образованием из органического вещества смешанных гуминовых - сапропелевый тип.

Результаты представленных геохимических исследований свидетельствуют о возможности прогнозирования новых зон нефтегазонакопления в отложениях нижней и средней юры, занимающих значительные объемы осадочного выполнения грабенов, что в свою очередь позволяет расширить представление о углеводородный потенциал этих месторождений в разрезе Южно-Тургайского бассейна.



#### **Рисунок 4 - Графики**

- (а) геохимический разрез исходных пород образцов кернового материала скважины Р-4;  
(б) зависимости ТОС от углеводородного потенциала в исследуемых образцах керна  
Арыскумского прогиба Южно-Торгайского бассейна, Казахстан**



**Рисунок 5 - Графики меловых отложений Арыскумского прогиба Южно-Торгайского бассейна**  
**(а) - зависимость водородного индекса (HI) от  $T_{\text{max}}$  юрско; (б) - корреляционная зависимость между водородным индексом (HI) и кислородным индексом (OI), Казахстан**

### «Разработка методов прогноза внезапных выбросов угля и газа на основе изучения нанопокрытия угля»

Научный руководитель: к.т.н., PhD Маусымбаев А.Д.

Основание для выполнения: грантовое финансирование «Жас ғалым-2»  
на 2022-2024 гг. № AP14972877 от 20.10.2022 г.

#### Цель проекта

Разработать инновационный метод прогноза внезапных выбросов угля и газа, изучив нанопокрытие угольного вещества с последующим внедрением их на угольных шахтах.

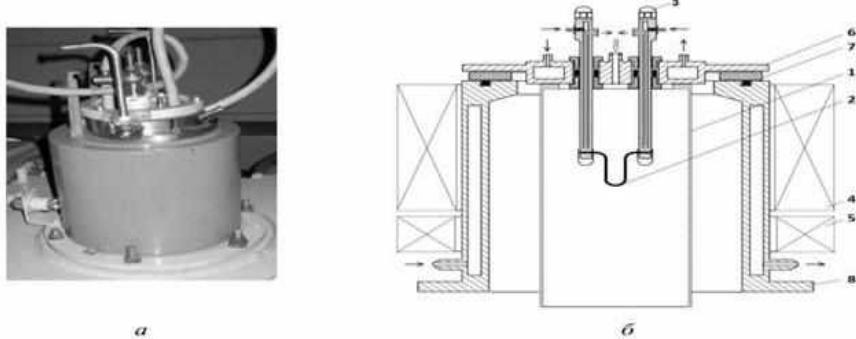
#### Ожидаемые и достигнутые результаты

Для проведения прогноза выбросоопасности угольных пластов, используя начальную скорость газовыделения, выполнены определенные шаги, которые заключаются в следующем: для начала выбрали оптимальные места для бурения контрольных шпуров, диаметр которых составляет 42-43 мм. Затем расставили интервалы бурения на глубинах 1,5 м, 2,5 м и 3,5 м. В каждом шпуре установили измерительную камеру длиной 0,5 м, где выполняли измерения начальной скорости газовыделения в соответствии с методикой, применяя технические средства, такие как датчики и анализаторы. Этот процесс обеспечивает точные данные, которые затем используются для прогнозирования выбросоопасности угольных пластов и разработки эффективных мер по предотвращению потенциальных взрывных ситуаций.

Представлена задача создания способа прогноза выбросоопасности угольного пласта, учитывающего влияние температурной активации массопереноса метана в углях, формирующейся под воздействием высокоскоростной деформации угольного массива с учетом энергии его формоизменения, которая возникает в результате этого процесса. Для разработки такого метода прогноза выбросоопасности угольного пласта был проведен учет температурной активации массопереноса метана в угольном массиве, который формируется под воздействием высокоскоростной деформации. Кроме того, важно учитывать энергию формоизменения угольного массива, которая возникает в ходе данного процесса. Этот комплексный подход позволяет прогнозировать потенциальные выбросы угля и метана, обеспечивая эффективные меры предотвращения взрывоподобных ситуаций.



**Рисунок 6 - Установка**  
**(а) - ЭПП-40; (б) - установка УЗГ-4; (в) - пароструйное устройство УПС 4.3-гейзер**



**Рисунок 7 - Внешний вид (а) и схема (б) источника «ПИНК»**

1 - катодная полость; 2 - накаленный вольфрамовый катод; 3 - электроввод;  
4 - стабилизирующая катушка; 5 - фокусирующая катушка; 6 - водоохлаждаемый фланец;  
7 - изолятор; 8 - водоохлаждаемый корпус

**«Исследование минералого-geoхимических особенностей отложений Карагандинского угольного бассейна с целью идентификации продуктов эксплозивного вулканизма в углях»**

Научный руководитель: PhD Копобаева А.Н.

Основание для выполнения: грантовое финансирование молодых ученых по научным и(или) научно-техническим проектам на 2022-2024 гг.

№ AP13067779 от 20.05.2022 г.

### Цель проекта

Изучение минералого-geoхимических особенностей пирокластики в углях карбона и оценить влияние пирокластики на содержание редких металлов как источника редких металлов.

### Ожидаемые и достигнутые результаты

В ходе рабочей поездки в г. Владивосток (Россия) исполнители проекта Амангелдіқызы А. и Блялова Г. посетили Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Дальневосточный геологический институт Дальневосточного отделения Российской академии наук (ДВГИ ДВО РАН) и провели исследования по определению содержаний элементов-примесей, а также по изучению морфологии и форм нахождения РЗЭ в углях пласта к7 Карагандинского угольного бассейна.



**Рисунок 8 – ответственный исполнитель проекта Амангелдіқызы Алтынай в ходе рабочей поездки в ДВГИ ДВО РАН, г. Владивосток**

### Ожидаемые и достигнутые результаты

С применением современного комплексного подхода, состоящего из минералого-geoхимического анализа углей, изучен широкий спектр микроэлементов в 120 пробах угля и контактов угля и глинистых прослоев (далее ГП) и 50 пробах ГП пласта к7, который в данный момент разрабатывается и доступен для изучения, также изучены 13 проб на сканирующем электронном микроскопе.

При проведении аналитической сканирующей электронной микроскопии в сочетании с энергодисперсионной рентгеновской спектроскопией выявлено весьма значительное накопление циркония в углях, находящихся вблизи глинистых прослоев в непосредственном контакте с ними.

**Валерий Николаевич Захаров  
Александр Германович Красавин**

**ОТЧЕТ О ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НАУЧНОГО СОВЕТА РАН  
И КРАТКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ  
УЧРЕЖДЕНИЙ И ОРГАНИЗАЦИЙ ГОРНОГО ПРОФИЛЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И СТРАН СНГ В 2023 ГОДУ**

*Техническое редактирование и верстка Н.А. Вдовина*

---

Подписано в печать с оригинал-макета 07.06.2024 г. Формат 60x84 1/8. Бумага «Mega Copy Office». Печать офсетная. Набор компьютерный. Объем 22 п. л. Тираж 100 экз. Заказ № 274.

---

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова РАН  
111020, Москва, Крюковский тупик, 4.

Издание ИПКОН РАН, 111020, Москва, Крюковский тупик, 4.